

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.Д. Писаренко
“ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»

(назва ОКР)

з спеціальності :

171- Електроніка

Спеціалізація:

Електронні прилади та пристрої

на тему: Покращення тепловідводу від потужних мікроелектронних пристроїв

Виконав:

студент IV курсу, гр. ДЕ-351

_____ **Касяненко Вадим Вікторович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ **професор, д. т. н., доцент Кузьмичев А. І.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти:

Нормоконтроль _____ **доцент, к. т. н., доцент Чадюк В. О.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет Е л е к т р о н і к и
Кафедра Електронні прилади та пристрої
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр
Спеціальність: 171 – Електроніка
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.
_____ Л.Д.Писаренко
«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту
Касяненко Вадиму Вікторовичу

1. Тема проекту «Покращення тепловідводу від потужних мікроелектронних пристроїв»

і керівник проекту **Кузьмичев Анатолій Іванович, професор, д. т. н.**

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2019 р., №

2. Строк подання студентом проекту «__» _____ 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Огляд різновидів конструкцій та принципів тепловідводу від потужних мікроелектронних пристроїв, технологічний цикл виготовлення товстих мідних провідників на керамічних підкладках (далі - DBC підкладка), інженерний розрахунок теплових режимів модуля живлення DBC підкладок. Матеріал тепловідводу – мідь, товщина металізації підкладки до 1мм. Макс температура допустима потужність тепловиділення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по схемо-технічним принципам побудови та функціонування товстих мідних провідників на керамічних підкладках; розробка та дослідження фізикоматематичної моделі пристрою; висновки; пер-елік використаної науково-технічної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу: схематичні зображення; функціональні та конструкторсько-технологічні схеми; структурні схеми; плакати з рисунками, графіками та формулами.

6. Дата видачі завдання: _____ 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по на тему тепловідводу від потужних МК	27.01.2019– 18.02.2019	
2	Дослідження матеріалів, що можуть використовуватися для кращого тепловідводу	25.02.2019– 17.03.2019	
3	Розрахунок параметрів та характеристик пристрою		
4	Конструктивно – технологічний розрахунок друкованої плати пристрою		
5	Розробка друкованої плати та складального креслення друкованої плати пристрою		
6	Розробка конструкторської документації на пристрій		
7	Технологія виготовлення друкованої плати пристрою		
8	Програмна реалізація пристрою. Розробка алгоритму роботи		
9	Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	27.05.2019	

Студент гр. ДЕ-351

_____ **В. В. Касяненко**

Керівник проекту

_____ **А. І. Кузьмичев**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

**на тему: «Покращення тепловідводу від потужних
мікроелектронних пристроїв»**

Київ – 2019

РЕФЕРАТ

Електронна система моніторингу життєвих показників людини

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 171- Електроніка, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Касяненко Вадим Вікторович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-351. – К.:НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 71 с., іл. 40, табл. 5.

Ключові слова: МП – мікроелектронні пристрої

Короткий зміст роботи: В данному дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по метало-керамічним DBC платам.

Показано перспективи використання таких плат для покращеного тепловідводу від потужних мікроелектронних пристроїв.

Приведено результати дослідження фізико-математичної моделі DBC-підкладок та результати розрахунку параметрів та характеристик DBC плати. Результати експериментальних випробовувань відрізняються від теоретичних розрахунків на 15-20 %. Розроблена конструкція пристрою, використовуючи мідно-керамічні плати зі збільшеною площею може забезпечити наступні параметри:

- поліпшення відводу тепла ;
- відсутність необхідності додаткового охолодження ;
- надійного кріплення «плата-корпус» ;
- економлять час .

Проведена експериментальна перевірка функціонування тепловідводу який забезпечує робочу температуру не більше 56 ° С. При потужності енерговиділення питомої потужності тепловиділень 80 Вт.

АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по технології отримання товстих (127-500 мкм) мідних провідників на керамічних підкладках. Показано перспективи використання DBC плат в малогабаритних пристроях. Приведено результати дослідження фізико-математичної моделі модуля живлення (далі МЖ) та результати розрахунку параметрів та характеристик. Максимальна температура МЖ становить 56°C при температурі навколишнього середовища 25°C і потужності тепловиділень 80 Вт.

Виходячи з даних, отриманих нами в ході дослідження, можна зробити висновок про те, що існує необхідність в радіаторі або примусової конвекції. Але дана робота проводилася для малогабаритного джерела живлення. Це означає, що просте збільшення площі керамічної підкладки може забезпечити більш ефективне відведення тепла, ніж використання складного радіатора з вентилятором.

S U M M A R Y

The diploma project presents an overview of scientific and technical literature on the technology of obtaining thick (127-500 microns) copper conductors on ceramic substrates. The prospects of using DBC boards in small-sized devices are shown. The results of the study of the physical and mathematical model of the power supply module (hereinafter MF) and the results of parameters and characteristics are presented. The maximum MW temperature is 56°C at an ambient temperature of 25°C and a power output of 80 W.

Based on the data we obtained during the study, one can conclude that there is a need for a radiator or forced convection. But this work was carried out for a small power supply. This means that a simple increase in the area of the ceramic substrate can provide more efficient heat removal than using a composite radiator with a fan.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	11
ВСТУП	12
Розділ 1. Джерела живлення сучасної радіоелектронної апаратури: технологія виготовлення, конструкції, тепловідвод	16
Розділ 2. ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ТОПОЛОГІЇ ПЛАТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРА	27
Розділ 3. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК DBC ПІДКЛАДОК	31
3.1. Розрахунок теплових режимів МЖ	31
3.2 Висновки за підсумками розрахунку тепла і рекомендації для тепловідведення	40
3.3. Розрахунок максимальної вихідної потужності модулів живлення (далі МЖ) без радіатора	42
Розділ 4. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДЛОЖОК В КОРПУСІ	46
4.1 Перевірка опору ізоляції	50
4.2. Випробування на вплив зміни температури середовища	50
4.3. Результати випробувань.....	53
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	63
Додаток А. Технічне завдання	

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>			
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ док.</i>	<i>Піппс</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб</i>	Касяненко В.В.				<i>Покращення тепловідводу від потужних МП</i>		<i>Літ</i>	<i>Арк</i>
<i>Певевін</i>	Квзъмичев А. І							
<i>Реценз.</i>							11	109
<i>Н. Контр.</i>	Чалюк В.О.						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-351	
<i>Затвердл</i>	Писаренко Л.Д.							

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

МП	Мікроелектронний пристрій
DBC	Direct Bonded Copper, (з англ. - прямо приєднана мідь)
МЖ	Модуль живлення
ТКР	Тепловий коефіцієнт розширення

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>	Апк
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

1. Актуальність дослідження

Джерела живлення, будучи пристроєм для забезпечення електричним живленням різних систем - невід'ємна частина її роботи. Для застосування в перспективних галузях військової техніки, до них пред'являють масу додаткових вимог для забезпечення роботи в апаратурі спеціального призначення. Важливою є проблема відведення тепла. Площа поверхні тепловідведення повинна забезпечувати задану температуру корпусу. У малогабаритних джерелах живлення ця проблема стоїть найбільш гостро і вимагає детального дослідження.

На сьогоднішній день в Україні немає організацій, які здійснюють самостійно весь технологічний цикл виготовлення DBC. Тому є доцільно розробка технології короткострокового виготовлення цих плат. Виготовлення плати в складі багатоканального джерела вторинного електроживлення класу DC – DC які раніше не досліджувалися, і залишається не вирішеною проблема теплоотведення саме в малогабаритних приладах спеціального призначення.

2. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є джерела вторинного електроживлення класу DC – DC в модульному виконанні, до складу яких входять плати типу «мідь-кераміка-мідь».

3. Предмет дослідження

Забезпечення робочих режимів електронних компонентів в потужних (1000 Вт) малогабаритних джерел живлення спеціального призначення в модульному виконанні для жорстких умов експлуатації

4. Цілі і завдання дослідження

Виявлення нового методу виготовлення плат і вивчення теплових властивостей DBC підкладок з доказом можливості їх застосування в малогабаритних джерелах живлення.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
						10
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

завдання:

- розробити технологію виготовлення геометрії плат в потужних (1000 Вт) малогабаритних джерелах живлення спеціального призначення;

- виконати тепловий розрахунок, досліджувати теплові режими підкладок;

- дослідити способи з'єднання ББС плат в складі корпусу джерела живлення.

5. Наукові результати, що виносяться на захист:

1. Обґрунтування режимів роботи DBC плат в малогабаритних джерелах вторинного живлення в апаратурі спеціального призначення і вибір лазерної технології виготовлення ББС плат забезпечує швидке і точне отримання необхідної топології.

Технологія виготовлення плат за допомогою лазера зменшує бічний коефіцієнт підтравлювання (менше 0,3) і прискорює процес виробництва ББС плат.

2. Конструкторсько-технологічна розробка топології з максимально точним покриттям, що забезпечує тепловий режим функціонування малогабаритного джерела вторинного живлення в апаратурі спеціального призначення.

3. Результати експериментальне дослідження теплових режимів DBC плати, використовувані при виробленні рекомендацій для оптимального використання в джерелах живлення.

4. Тепловий розрахунок джерела живлення, зокрема з'єднання «плата-корпус», який доводить забезпечення нормальних умов функціонування малогабаритних джерел вторинного живлення в апаратурі спеціального призначення.

6. Наукова новизна результатів і наукових положень дослідження

1. Доведено, що виготовлення підкладок методом лазерного випаровування металу з поверхні зменшує бічний коефіцієнт підтравлення і є швидким і ефективним на сьогоднішній день отриманням DBC плати в Україні.

2. Розроблено лазерна технологія, що дозволяє зконструювати прецизійні плати з дрібною топологією.

3. Доведено оптимальність використання плати в джерелі живлення спеціальної апаратури з використанням примусового охолодження, з урахуванням розміру самого джерела.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата		11

4. Експериментально обґрунтований найкращий метод з'єднання DBC плати з корпусом - метод пайки.

7. Методологічна і теоретична основа дослідження

У роботі використані:

чисельні методи математичного моделювання теплових процесів в джерелах з використанням пакета Comsol;

методи експериментального дослідження теплових режимів РЕА;

методи обробки експериментальних даних

проводилися лабораторні дослідження, випробування на різному обладнанні.

Чисельні методи моделювання

8. Інформаційна база дослідження

Використовувалися журнальні статті [1-5], підручники [17], ГОСТи.

9. Достовірність наукових результатів дисертаційної роботи

При розрахунку використовувався метод кінцевих елементів. Проводилися розрахунки з використанням, як довідників, так і математичного пакета Comsol, підтвержуючі експериментальні дані виконання теплового розрахунку. Були поставлені експерименти з установкою в корпус різними способами і проаналізували отримані дані.

10. Публікації за темою дисертації. Оpubлікована стаття [18]

Лежнёва А. А., Калінкін А. М., Нікуліна О.С. Лазерна технологія ізготов лєнія метало-керамічних DBC плат. Збірник наукових праць аспірантів і студентів магістерської підготовки ПАТ «Авангард», Вип. 6, с. 139 142.

11. Практична цінність роботи

Розроблено методику виготовлення плат за допомогою лазера і вирішено питання відводу тепла даних підкладок в джерелах живлення

12. Впровадження результатів роботи

ББС підкладки використовуються в одноканальних джерелах вторинного електроживлення класу DC-DC, що розробляються в ПАТ «Авангард». Дані джерела знаходяться на етапі виготовлення дослідних зразків.

13. Короткий опис структури дисертації

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
Змн.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		12

У першому розділі подано огляд джерел живлення і проблеми тепловідведення в них, в якому наводиться опис, постановка задачі дисертації;

2 Розділ - виготовлення плат методом лазерного травлення

Поверхні додатково оброблялися лазерним випромінюванням з спеціальними властивостями, в тому числі і з використанням захисних середовищ.

3 Розділ - дослідження термоциклів і рекомендації по теплоотведенію.

Наведено порівняльні результати після різних способів розрахунку.

Велика площа плат допускає її використання без радіатора, але в даній роботі розглядалися малогабаритні джерела живлення, тому радіатор потрібен. При відсутності радіатора можна розрахувати значення швидкості потоку повітря при примусовій конвекції.

4 розділ - дослідження кріплення плат до корпусу

Розглядалися різні способи: різні види пайки, клею і було виявлено, що відшарування мідної топології DBC плат не спостерігається. Однак було з'ясовано, що для зразків пайка виявиться кращим варіантом, тому що теплопровідність клею найнижча в порівнянні з іншими варіантами.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 1. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ СУЧАСНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АППАРАТУРИ: ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ, КОНСТРУКЦІЇ, ТЕПЛОВІДВОД

1.1 Друковані плати

1.1.1 Технологія виготовлення

Direct Bonded Copper, DBC (з англ. - прямо приєднана мідь, або Direct Copper Bonding, DCB - пряме приєднання міді) - технологія отримання товстих (127-500 мкм) мідних провідників на керамічних підкладках; також самі підкладки, виготовлені за цією технологією. Застосовується в якості заміни традиційних друкованих плат для силової електроніки.

DBC плати складаються з трьох шарів (частіше використовуються одношарові DBC). Верхній шар - мідна конфігурація провідників, середній шар - діелектрик з керамік- оксиду алюмінію (Al_2O_3) або нітриду алюмінію (AlN), нижній шар - суцільна мідь для пайки плати до корпусу. Мідь верхнього і нижнього шару зазвичай покривається Au, Ni, HASL SnPb і ін. Покриттями. DBC плати отримали дуже широке поширення в силовій електроніці в розвинених країнах і в Росії. Основні застосування технології DBC - це підсилювачі потужності, інвертори і перетворювачі типу DC / DC. Основою для розвитку цих пристроїв є:

- системи «м'якого» старту і зупинки електродвигунів, енергосберегаючі контролери;
- компоненти систем телекомунікації, такі як перетворювачі DC / DC на базових станціях стільникових мереж;
- авіаційні електричні приводи, що застосовуються тепер замість гідрав-вих.

Багатокристалльні модулі (MCM), що застосовуються у виробі силовий електроніки, таких як інвертори і перетворювачі DC / DC - бурхливо розвивається напрям електроніки. Технологія DBC (Direct Bond Copper - пряма мідна металізація) - технологія із застосуванням товстої мідної фольги (0,125-0,7 мм), яка накладається на оксид або нітрид алюмінію. Електронний вузол на

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ док-м.	Підпис	Дата		14

основі такого модуля не боїться перегріву, прекрасно охолоджується, а мідна фольга забезпечує найкращі умови для проходження електричного струму.

Оскільки технологія виробництва DBC використовує чисту мідь, існує можливість отримувати інтегровані токовиводи. Дана технологія розроблялася компанією Curamik electronics протягом останніх років, і зараз по ній ведеться масове виробництво.

Принцип отримання підкладок представлений на рис. 1. Керамічна підкладка Al_2O_3 , що знаходиться в безпосередньому контакті з пластиною Cu спільно розігріваються до $1065..1085^{\circ}C$. У підсумку в зоні контакту кераміки і фольги відбувається взаємне проникнення, дифузія молекул кисню, хоча пласті на z міді залишається твердою, при цьому виходить тонкий шар зв'язуючий матеріали. Після утворення такого зв'язку пластину охолоджують, при правильній установці парціального тиску O_2 і температури нагріву мідний шар виходить рівномірним без розривів і з однаковою товщиною. Технологія отримання DBC на основі AlN схожа з наведеної вище, з різницею, що поверхня AlN перетворюється в Al_2O_3 за рахунок нагріву і впливу O_2 і при дотриманні всіх умов оксидний шар виходить достатньої щільності, тому як це потрібно для утворення якісного однорідного шару міді (рис. 2) [1, 8,10].

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата		15

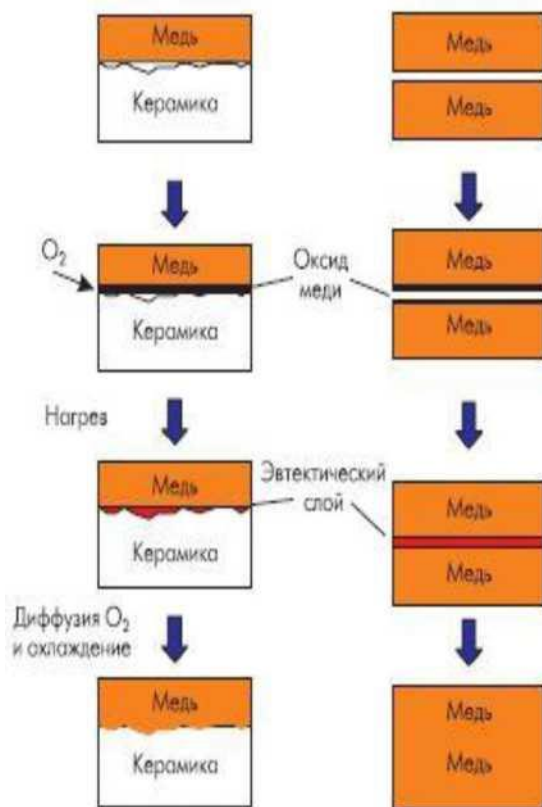


Рисунок - 1 Процесс DBC

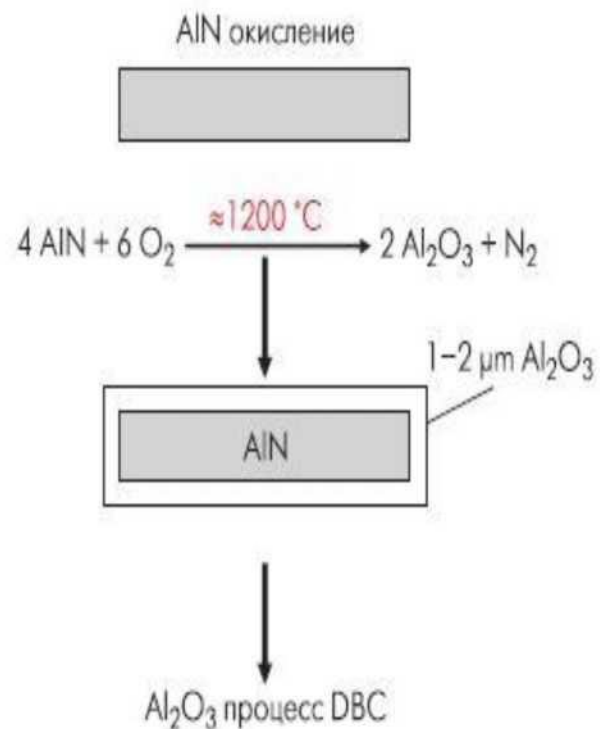


Рисунок - 2 Процесс AlN DBC

Наступні характеристики привели до заміни традиційних матеріалів на DBC в силових багатокристалні модулях:

- Низький коефіцієнт температурного розширення ($7,2 \cdot 10^{-6}$), незважаючи на порівняно товсті шари міді (0,3 мм);
- Висока токопроводимість завдяки товщині мідного провідника і низькому опору;
- Висока опірність міді на відрив ($> 50 \text{ Н / см}$);
- Дуже низька температурне опір підкладок завдяки ефективному поширенню тепла в товстому шарі міді, а також завдяки отсут ствію проміжних шарів;
- Висока стійкість до механічних впливів. [2, 9]

Системні інженери та інженери-теплотехніки витрачають багато часу на моделювання та оцінку складних електронних систем, щоб виробити рішення щодо відведення розсіюється на платі тепла. Для відводу цього небажаного тепла використовуються обдування повітрям і радіатори (тепловідводи). Реальна проблема полягає в тому, що сучасні процесори,

ПЛІС і спеціалізовані стабілізатори зазвичай починають розсіювати все більшу потужність в міру росту температури всередині системи. На жаль, це вимагає більшої віддачі потужності і від стабілізатора живлення, розсіювання тепла на якому також возрастает, що ще більше збільшує температуру всередині системи. Тому уменшення розсіювання потужності і тепла є дуже важливим фактором, а рішення з високою щільністю потужності повинні обмежувати розсіювання потужності і ефективно видаляти виділяється тепло. Тим не менше, більшість компактних рішень з надання живлення характеризуються або занадто великої розсіюється потужністю, або виділяється тепло не можна ефективно відвести, тому плата не може працювати при підвищеній температурі без суттєвого зниження її експлуатаційних характеристик. Для вирішення цієї реально існуючої проблеми потрібно виробити деякий розумне рішення. [3, 11, 12-20]

Компанія 8eshkgo розробляє і виробляє модулі притискової конструкції, виготовлених без базової плати. Основні переваги, які дає використання «безбазових» притискових модулів полягає в наступному:

- відсутність мідної основи виключає основну причину відмов потужних модулів, пов'язану з неузгодженістю коефіцієнтів теплового розширення ТКР міді і матеріалу керамічної плати, на якій встановлюються силові кристали. Різниця в ТКР призводить до виникнення механічних стресів, погіршення теплової зв'язки і передчасного виходу модуля з ладу. Заміна міді на композитні матеріали з найкращим узгодженням ТКР погіршує теплові характеристики модуля;

- відсутність мідного (або композитного) підстави дозволяє зменшити сумарне теплове опір модуля на 10-20% за рахунок виключення теплового переходу «кераміка-мідь-тепlostок», відповідно підвищується допустиме значення робочого струму, знижується перегрів кристалів.

Установка кристала здійснюється за допомогою пайки, що необхідно для забезпечення оптимального відводу тепла з поверхні кристала. Корпус модуля має спеціальні напрямні, які забезпечують притиск кераміки до

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		17

радіатора і рівномірну передачу тепла на нього (рис. 3). При виникненні переміщень, пов'язаних з розширенням матеріалів модуля при нагріванні, кераміка «плаває» по теплопровідній пасті, не відчуваючи механічних навантажень.



Рисунок 3 - Контакт підстави силового модуля і радіатора.

Для забезпечення нормального відведення тепла все повітря з зазорів повинен бути витіснений спеціальним теплопровідним еластичним складом, мають набагато більш високу теплопровідність. Однак в будь-якому випадку теплові властивості найкращих паст набагато гірше, ніж у металів, тому якість соприкасаемых поверхонь і товщина зазору мають визначальне значення. Для оптимальної теплопередачі необхідно забезпечити максимальну площу соприкосновения підстави модуля і радіатора і, відповідно, мінімальну товщину зазору. [27-30] На рис. 4 показана залежність теплового опору від товщини провідного шару. З ростом товщини шару до досягнення оптимального значення тепловий опір досить велике через що залишилися під підставою модуля пустот (червона зона). Після досягнення оптимуму тепловий опір знову починає рости, оскільки, як було зазначено вище, теплопроводность паст помітно гірше, ніж матеріалів радіатора і силового модуля. [4, 5, 6, 7]



Рисунок 4 - Залежність теплового опору від товщини шару паст

Висока в порівнянні з іншими ізоляційними матеріалами теплопроводность оксиду і нітриду алюмінію робить DBC кераміку незамінним матеріалом для конструкцій, що вимагають хороший тепловідвід. Ефективність

передачі тепла характеризується тепловим опором багат шарових конструкцій. Чим нижче тепловий опір, тим краще відведення тепла. Існує вірогідність використання даних підкладок без радіатора, що і буде досліджуватись в даній роботі.

Існує 2 широко відомих способу отримання топології провідників із заготовок:

- 1) травлення;
- 2) фрезерування на верстаті з програмним управлінням.

Стандартне травлення хлорним залізом не підходить, так як товщина ме ді

0,3-0,4 мм, тому бічний коефіцієнт подтравлювання буде занадто великий (більше товщини міді).

Що стосується фрезерування на верстаті з програмним управлінням, то досліді показали, що фреза, досягаючи кераміки, відразу ламається.

Відомо, що лазерні установки успішно виконують гравіювання по металлі, випаровуючи його з поверхні. Можна зробити мідну топологію на DBC платі, випарувавши мідь з відповідних частин плати. Таким чином, можна получити нову методику отримання топології і тим самим сформулювати вимоги до завдання дисертації.

1.1 Властивості: кераміки, міді.

Характеристики металізації DBC-підкладок

Досліджувані зразки DBC-підкладок від компанії CETC мали розміри кераміки 120×120 мм, товщина в середньому 640 ± 17 мкм (вимірювання проводилися в 13 точках мікрометрів Micron з точністю вимірювання 5 мкм). Двостороння мідна металізація була товщиною 300 мкм і розміром 119×119 мм. При дослідженні поверхні DBC-підкладок було встановлено, що структура металізації сторін підкладки різна (див. рис. 3а і 3б) і істотно відрізняється від структури мідної фольги М06, виготовленої по ГОСТ 859-

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ док-м.	Підпис	Дата		19

2001 (див. рис. 3в). Після подтравлювання поверхонь DBC-підкладки азотною кислотою, на них можна було чітко раз личить окремі кристали міді, їх форму і розміри (см. рис. 4а та 4б). на цих фотографіях видно, що на стороні а зерна міді мають розміри порядку 1-2,5 мм, що в середньому в два рази більше зерен на стороні б. це відміну, можливо, зумовлено різними температурними режимами процесу металізації для кожної зі сторін. Така структура металізації створює шорсткість класу 9в з $R_a = 0,24 \pm 0,03$ мкм на стороні а і $R_a = 0,21 \pm 0,02$ мкм на стороні б. Виміри проводилися щупів профілометри TR220 (точність $\pm 0,01$ мкм) по ГОСТ 2789-73. Шорсткість у кераміки DBC-підкладок була визначена після стравлювання мідної металізації азотною кислотою з наступним промиванням дистильованою водою і по обидва боки становила, в середньому, $R_a = 0,20 \pm 0,02$ мкм (клас 9в) (див. Рис. 5). Таке значення шорсткості вказує на те, що перед металізацією, для збільшення міцності зчеплення з міддю, керамічні підкладки піддавалися механічній обробці. різна полікристалічне будова металізації призводить до різниці електричного опору сторін а і б, оскільки межкристаллической опір вносить великий вклад в загальний опір. На стороні б полікристалів більше, ніж на стороні а й, відповідно, граней, які створюють додатковий опір. для підтвердження цього висновку на обох сторонах DBC-підкладки було виміряно питомий опір металізації. Виміри проводилися цифровим прецизійним мультиметром Tektronix DMM4040 (точність 1×10^{-7} Ом). Результати цих вимірювань представлені в таблиці 1. З даних, наведених у таблиці 1, видно, що на стороні а опір майже на 10% нижче, ніж на стороні б. Така відмінність у опорі слід враховувати при розробці топо логії схеми, так як це може привести до того, що на провіднику, розташованому на стороні б, буде виділятися більше потужності, ніж на провіднику тих же розмірів на стороні а. Адгезія є основним показником якості з'єднання матеріалів. Для визначення міцності з'єднання в DBC-підкладках були проведені виміру адгезії міді до кераміці до і після впливу термоударів. Вимірювання адгезії DBC-підкладок проводилися на зразках розміром 30×30 мм, які піддавалися

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Алк
Змн.	Алк.	№ докum.	Підпис	Дата		20

впливу різного числа термоударів по ГОСТ 20.57.406-81 (метод «двох камер» 205-1, перепад температури $-60 \dots 150^{\circ}\text{C}$, витримка 1 годину). Після цього вимірювалася адгезія на сторонах а й б з використанням розривної машини Instron 3366L4610 з точністю вимірювання 1%. Принцип вимірювання показаний на малюнку 6. Підготовка до вимірювання адгезії проводилася в такий спосіб. Вимірюється DBC-підкладка і розривної стовпчик з площею підстави $0,5\text{ см}^2$, виготовлений з латуні марки ЛС-59-1, облуживають паяльною пастою на основі порошків олова і свинцю з добавкою вазеліну і каніфолі, розташовувалися на електроплиті і розігрівалися до температури 270°C . Залужений розривної стовпчик закріплювався на залуження поверхні вимірюваної DBC-підкладки строго перпендикулярно. У такому положенні деталі припаювалися один до одного. Для забезпечення рівномірного навантаження на вимірювану підкладку використовувався металевий диск з отвором $0,6\text{ мм}$, на який створювався упор (за допомогою спеціального оснащення - лежачий) в той момент, коли до розривному стовпчику прикладалися зусилля в вертикальному напрямку. Обробка даних вимірювань проводилася по ГОСТ 28830-90. У таблиці 2 представлені результати вимірювань адгезії на стороні а й стороні б. На малюнку 7 показано місце відриву на DBC-підкладці міді від кераміки. Проведений хімічний аналіз цієї області показав, що світлими ділянками є залишки міді (Cu), темними - алюмооксидного кераміка (Al_2O_3), а напівпрозорі області - це алюмомедная шпинель (CuAl_2O_4) (перехідний шар). З даних, наведених у таблиці 2, видно, що міцність з'єднання алюмооксидного кераміки з міддю по технології DBC має високі значення. Однак з результатів вимірювань також видно, що після 20 термоударів адгезія погіршується майже на 16%, що може виявитися серйозною проблемою при проектуванні на таких підкладках високопотужних пристроїв. Подібне погіршення адгезії відбувається через механічної напруги, які виникають в з'єднанні між міддю і керамікою при температурних перепадах в результаті різниці температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) міді і кераміки. Більш ретельні дослідження залежності

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
Змн.	Анк.	№ док.	Підпис	Дата		21

адгезії від перепадів температури вимагають проведення досліджень на більшій кількості зразків. характеристики кераміки в DBC-підкладках від виробника SETC Для визначення якості кераміки, респонденти користуються послугами компанії SETC, були досліджені підкладки з міддю, яка попередньо була стравлена азотною кислотою (див. рис. 5в). для порівняння характеристик цих підкладок з вітчизняними зразками, на підприємстві НЕВЗ-Керамікс були виготовлені алюмооксидного підкладки розміром 120 × 120 мм з кераміки марок ВК-96 та ВК-100 товщиною 640 мкм. підкладки виготовлялися на обладнанні КЕКО EQUIPMENT за технологією лиття на рухому основу, яка включає в себе наступні основні операції:

- приготування шлікера;
- лиття сирі керамічної плівки;
- виготовлення заготовок підкладок з сирі керамічної плівки;
- спікання заготовок керамічних підкладок;
- механічна обробка поверхні (шліфування, полірування, торцювання країв і ін.).

Особливістю цієї технології є те, що у спечених підкладок торці обрізаються методом лазерного скрайбування на лазерної установки МЛ1-1, після чого відламуються спеціальним пристосуванням. Керамічні DBC-підкладки виробництва компанії SETC також мають на торцях характерні сліди від впливу лазерного променя (див. рис. 8). Це вказує на те, що дані керамічні підкладки виготовлялися за технологією лиття на рухому основу з після дме лазерним скрайбуванні торців. У DBC-підкладок виробництва SETC і вітчизняних підкладок були виміряні основні фізичні і механічні параметри, які дуже важливі для розробників електронних пристроїв. Середні значення виміряних параметрів наведені в таблиці 3. За результатами проведеного аналізу був зроблений висновок про те, що кераміка, яка використовується в DBC-підкладках компанією SETC, містить 98% основної речовини (Al₂O₃), і за цим показником займає проміжне положення між керамікою ВК96 і

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Алк
Змн.	Алк.	№ докum.	Підпис	Дата		22

керамікою ВК100. За багатьма параметрами DBC-кераміка схожа з керамікою марки ВК96. Однак, як можна бачити з таблиці 3, більшість характеристик підкладок з кераміки марки ВК100 значно перевершують характеристики DBC-підкладок і підкладок з кераміки ВК96. Це може стати визначальним фактором при виборі керамічного матеріалу для виробництва DBC-підкладок для високопотужних СПУ. Для порівняння поверхневих структур кераміки DBC-підкладок від СЕТС і вітчизняних підкладок на електронному мікроскопі MIRA3 були зроблені фотографії поверхонь цих підкладок (див. рис. 5а, 5б і 5в). На фотографіях видно, що поверхнева структура у DBC-кераміки дуже схожа зі структурою кераміки марки ВК96. Однак в кераміці ВК96 зерна більш округлі, а в DBC кераміці - довгасті і з гострими кутами, що вказує на різні технології виготовлення порошку глинозему. У порівнянні з керамікою марки ВК96, підкладка з кераміки марки ВК100 має більш крупнокристалічного структуру, що пов'язано з більш високотемпературним режимом її спікання. Для виявлення залежності якості з'єднання міді з керамікою за технологією DBC від характеру поверхневої структури керамічної підкладки та її хімічного складу планується провести додаткові дослідження. Одним з визначальних параметрів вибору матеріалу для виготовлення надійних надпотужних напівпровідникових пристроїв є висока теплопровідність.

Висновки до розділу 1

Кожний розділ дипломної роботи повинен мати висновки (в кількості 2...3-х), які підводять підсумки розділу.

Необхідно показати:

- чим запропоноване та досліджене рішення краще, ніж те, що існувало раніше;
- що запропоноване та досліджене рішення дає: підвищує пропускну здатність системи, розширює робочу смугу частот, підвищує клас точності, зменшує масогабаритні показники, собівартість тощо.

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>	Анк
						23
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Висновки до всієї роботи (в кількості 5...8 –ми) підводять підсумки до всієї роботи, конкретно надають результати виконаної роботи та параметри пристрою, що розроблявся, та вказують на перспективи розвитку викладених ідей.

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>	<i>Анк</i>
<i>Змн.</i>	<i>Анк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>24</i>

Розділ 2. ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ТОПОЛОГІЇ ПЛАТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРА

При використанні метало-керамічних плат виникла проблема получе нія необхідної топології. Найчастіше після замовлення виникає задача внесення дрібних змін в топологію, що веде до збільшення часу виготовлення. Крім того, класичними способами отримання необхідної топології складно виготовити плату з дрібної топологією. Таким чином, було прийнято рішення про розробку технології короткострокового виготовлення плат.

Метало-керамічні DBC плати складаються з трьох шарів (частіше вико-
ються одношарові DBC). Верхній шар - мідна конфігурація провідників,
середовищ-ний шар - діелектрик з кераміки - оксиду алюмінію (Al_2O_3) або
нітриду алюмінію (AlN), нижній шар - суцільна мідь для пайки плати до корпусу.
Мідь верхнього і нижнього шару зазвичай покривається Ag , M , HASL SnPb і ін.
Покриті ямі. Комбінована структура «мідь - кераміка-мідь» має коефіцієнт
температурного розширення, лише злегка перевищує його значення для кераміки
($7,2-7,6 \times 10^{-6}$). Це дозволяє монтувати великі напівпровідникові силові кристали
безпосередньо, не використовуючи компенсаційних шарів. Переїмствами DBC
плат по відношенню до звичайних платам є:

1) висока теплопровідність - 24 Вт / мК - у плат на Al_2O_3 ; 170 Вт / мК - у
плат на AlN . Для порівняння, теплопровідність текстоліту становить 0,6 Вт / мК.

2) Товста мідна конфігурація провідників - до 0,4 мм. Вона дозволяє про-
водити струми до 50-100 А. Для порівняння, товщина мідної топології провідників
текстолітових і інших плат зазвичай не перевищує 0,075 мм.

DBC плати отримали дуже широке поширення в силовій електроніці в
розвинених країнах. Переваги очевидні: мідь володіє високою опірністю на
відрив, низьким температурним опором підкладок завдяки ефективному
поширенню тепла в товстому шарі міді, а крім того підкладки високо стійкі до
механічних впливів. Основне застосування технології DBC - це підсилювачі
потужності, інвертори і перетворювачі типу DC / DC. Основою для розвитку цих
пристроїв є:

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
						25
Змн.	Апк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

системи «м'якого» старту і зупинки електродвигунів, енергосберегаючі контролери;

компоненти систем телекомунікації, такі як перетворювачі DC / DC на базових станціях стільникових мереж;

авіаційні електричні приводи, що застосовуються тепер замість гідравлічних.

Для застосувань в умовах низької потужності, як правило, використовуються гібридні схеми на оксидній кераміці. Основні відмінності між гібридами і DBC це товщина і питомий опір провідника. DBC мають найменше питомий опір з усіх типів підкладок. Мінімальна товщина шару міді DBC починається з тих же значень, що і максимальне значення гібридів і плакованої міді. Провідні верстви завтовшки 125 мкм подраза мають нанесення і випалювання декількох шарів.

Існує два широко відомих способу отримання топології провідників із заготовок: травлення і фрезерування на верстаті з програмним керуванням. Відзначимо, що стандартне травлення хлорним залізом не підходить, так як товщина міді 0,3-0,4 мм, тому бічний коефіцієнт подтравлювання бу дет занадто великий (більше товщини міді) як показано на рис. 3 занадто великий (більше товщини міді) как показано на рисунку 3.

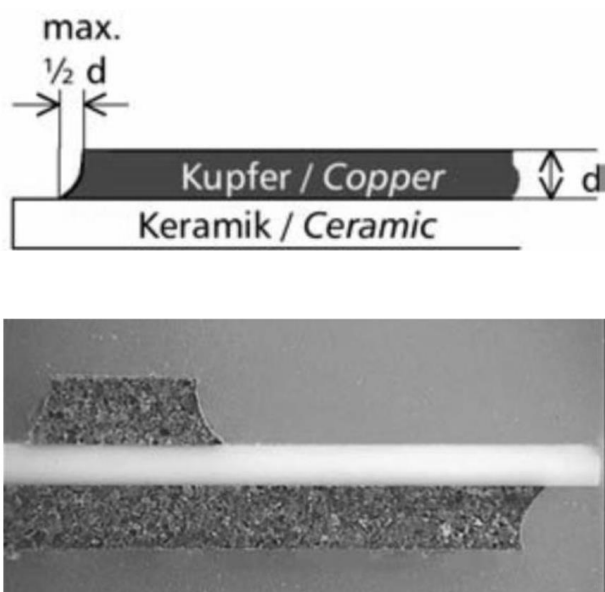


Рисунок 3 - Травлення хлорним залізом

Що стосується фрезерування на верстаті з програмним управлінням, то випробування показали, що фреза, досягаючи кераміки, відразу ламається.

Відомо, що лазерні установки успішно виконують гравіювання по ме-Таллі, випаровуючи його з поверхні. Можна зробити мідну топологію на DBC платі, випарувавши мідь з відповідних частин плати. При цьому застосовується ме тод лазерної абляції. Для досягнення необхідних властивостей з точки зору електричної провідності, поверхні додатково обробляються лазерно випромінюванням зі спеціальними властивостями, в тому числі і з іспользовані ем захисних середовищ. З метою запобігання утворенню проводить електричний струму шару в зоні деметалізації заготовок ми застосовували метод обробот кі плат в середовищі захисних газів аргону і азоту. Далі здійснюється последую щая обробка гравіруемых ділянок лазерним випромінюванням зі спеціально під- лайливими технологічними параметрами з метою видалення струмопровідної плівки. Далі слід обробка гравіруемых ділянок лазерним випромінюванням із спеціальним підібраними технологічними параметрами з метою видалення струмопровідної плівки в дистильованой воді.

Для виконання роботи застосовувалася система прецизійної лазерної про- ництва матеріалів "МініМаркер-2", виробництва ТОВ "Лазерний Центр", на базі волоконного випромінювача середньою потужністю 20 Вт з розширеними можливостями з управління параметрами випромінювання. Фото установки на рис. 4.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		27

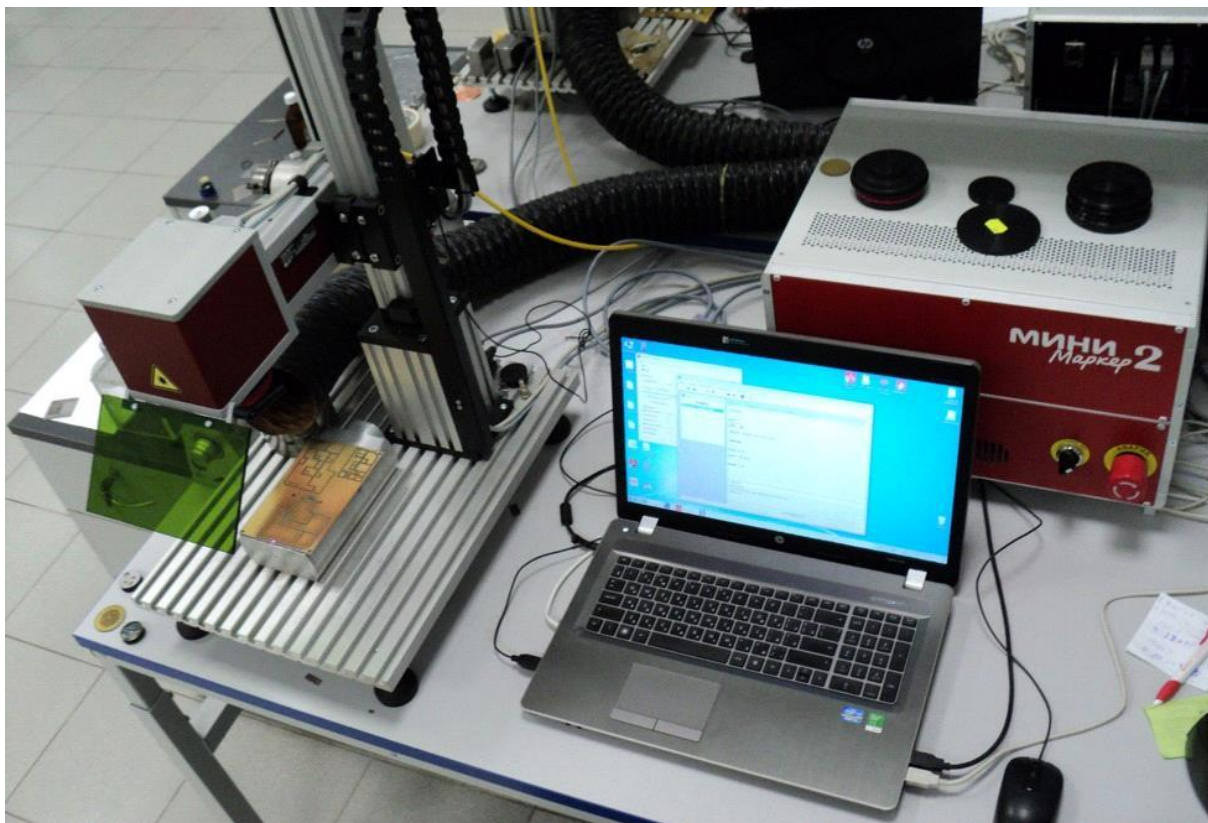


Рисунок 4 - Установка «МиниМаркер-2»

Комплект № 1 (рис. 5) виконаний із застосуванням об'єктива з полем обробки 100x100мм, і подальшої спеціальної обробкою гравіюючих ділянок лазерним випромінюванням з метою видалення струмопровідної плівки.

Комплект № 2 (рис. 6) виконаний із застосуванням об'єктива з полем обробки 100x100мм.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата		28

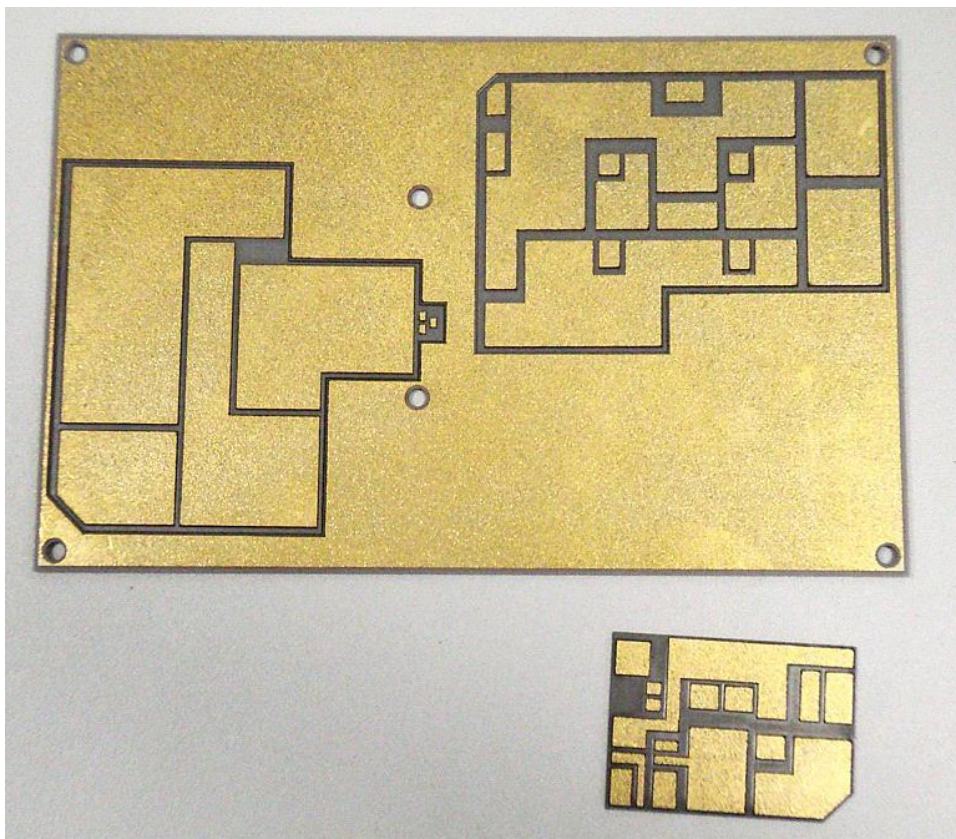


Рисунок 5 - Конфігурація плат комплекта №1

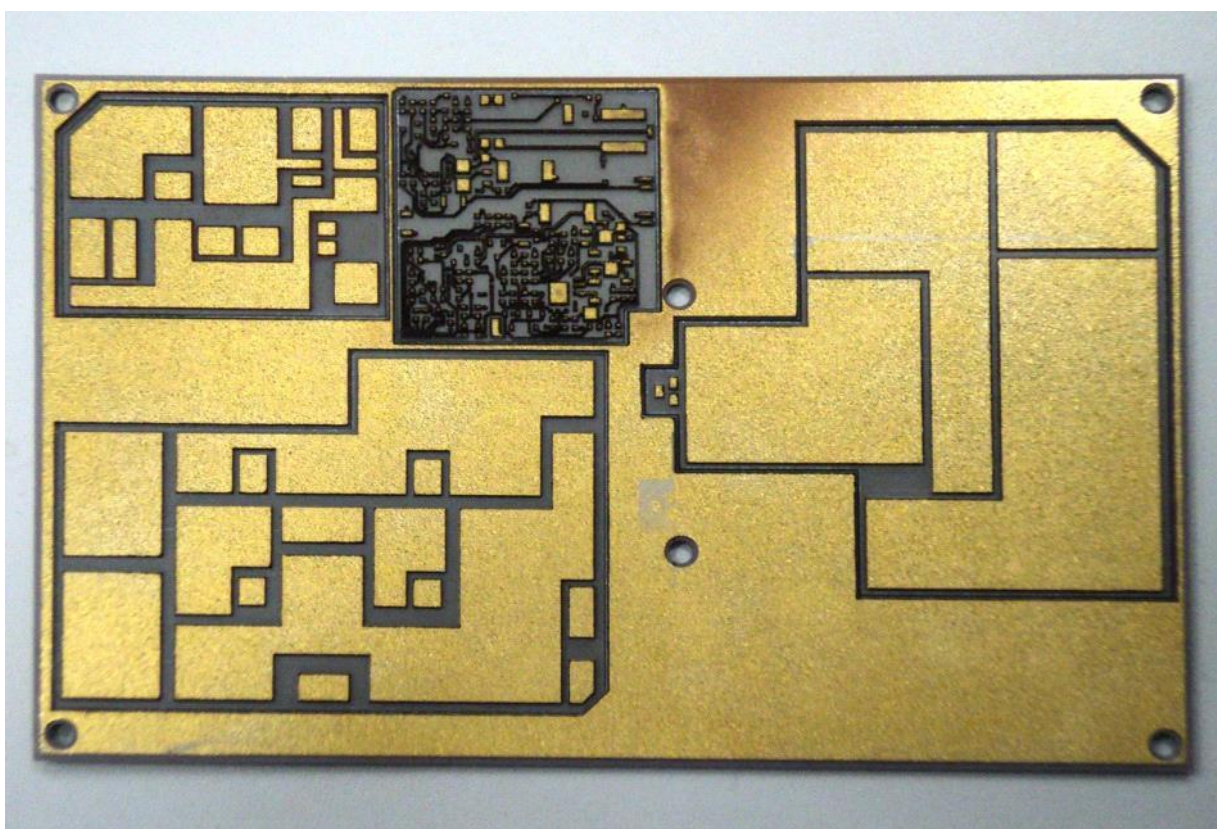


Рисунок 6 - Конфігурація плат комплекта №2

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Висновок: На відміну від DBC алюмооксидного (Al_2O_3) підкладок процес видалення мідного шару з алюмонітрідних (AlN) заготовок-підкладок методом лазерного гравіювання неможливий без утворення струмопровідної плівки на обробленій поверхні. З цієї причини для додання потрібних діелектричних властивостей потрібно її додаткова обробка. При цьому застосування інертного газу і азоту в якості захисту зони впливу практично не впливає на процес утворення проводить електричний струм плівки на обробемій поверхні. Обробка плат без освіти струмопровідних ділянок можливо тільки поверхонь з однорідним рельєфом і складом.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		30

Розділ 3. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК DBC ПІДКЛАДОК

В цьому розділі поставлена задача проведення орієнтовного теплового розрахунку модуля живлення (далі-МЖ) при різних варіантах конструктивного виконання, а також виявлення максимальної вихідної потужності МП без теп. лоотвода і вироблення рекомендацій для відведення тепла з МП.

3.1 Розрахунок теплових режимів МП

Екологічно нейтральні керамічні матеріали DBC з мідними ши-нами, нанесеними методом дифузійного зрощування, можуть бути виконані на кераміці AL₂O₃ (теплопровідність 24 Вт / мК) або на високолегованій оксидній кераміці AlN з поліпшеною механічною міцністю (теплопровідність 170 Вт / мК). Висока в порівнянні з іншими ізоляційними матеріалами теплопровідність оксиду і нітриду алюмінію робить DBC кераміку незамінним матеріалом для конструкцій, що вимагають хороши тепловідвід. Ефективність передачі тепла характеризується тепловим опором многослойних конструкцій. Чим нижче тепловий опір, тим краще відведення тепла.

Відомості про МП і варіанти теплового розрахунку.

Джерелом тепловиділень практично є силова плата. Загальні дані про силовий платі наведено на рис. 7 і рис. 8:

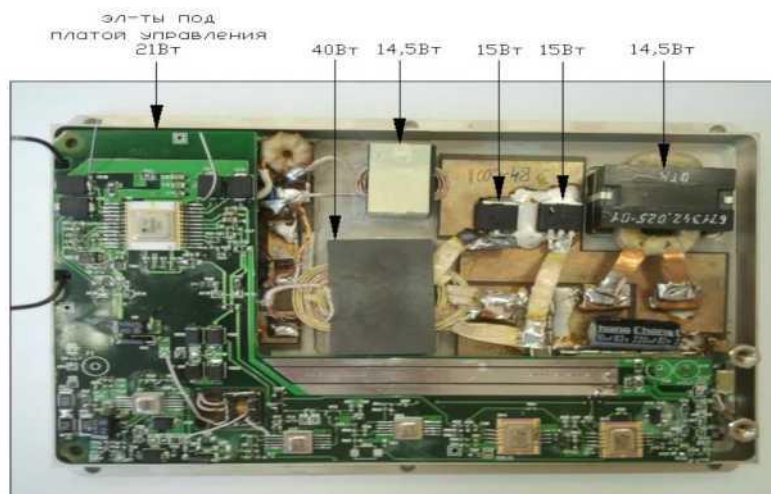
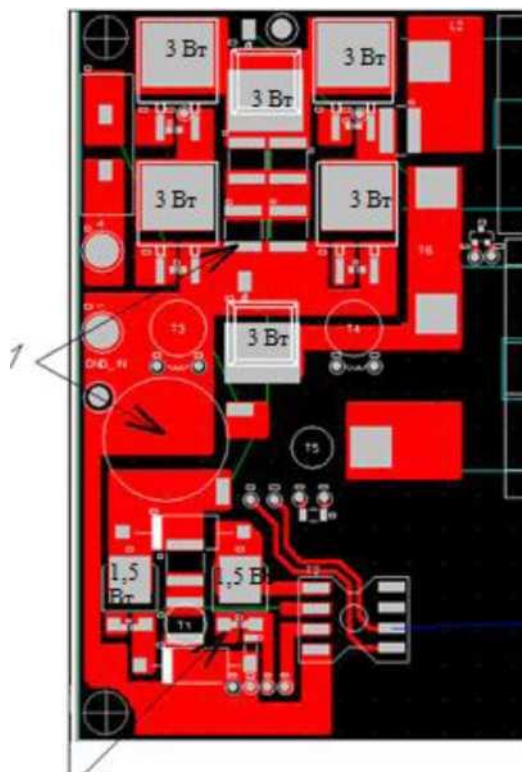


Рисунок - 7 Макет МП з показаннями потужностей тепловиділення



2

1-Вхідний фільтр, 2-схема управління.

Рисунок - 8 розташування тепловиділяючих елементів під платою керування та їх потужності

Таким чином, сумарна потужність виділення тепла з МП становить 120 Вт:

- 21 Вт виділяється на 8 силових напівпровідниках (висота компонентів-4 мм);
- 14,5 Вт виділяється на силовому дроселі;
- 40 Вт виділяється на силовому трансформаторі;
- 30 Вт виділяється на випрямлячі;
- 14,5 Вт виділяється на дроселі вихідного фільтра.

Габаритні розміри плати - 166X107 мм.

У розрахунку розглядається 8 варіантів конструкції силової плати:

а) силова плата з А1N товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через теплопроводную пасту; МП залитий компаундом - термоактивний, термопластичному полімерною смолою і встановлений в корпус;

б) силова плата з А1N товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через пайку; МП залитий компаундом і встановлений в корпус;

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		32

в) силова плата з AL_2O_3 товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з корпусом через теплопровідних пасту; МП залитий компаундом і встановлений в корпус;

г) силова плата з AL_2O_3 товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з корпусом через пайку; МП залитий компаундом і встановлений в корпус;

д) силова плата з AlN товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставою через теплопровідних пасту; МП без корпусу в компаунді;

е) силова плата з AlN товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставою через пайку; МП без корпусу в компаунді;

ж) силова плата з AL_2O_3 товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставою через теплопровідних пасту; МП без корпусу в компаунді;

з) силова плата з AL_2O_3 товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставою через пайку; МП без корпусу в компаунді;

Виконання теплового розрахунку.

Тепловий розрахунок МП проводився методом кінцево-елементного моделювання в програмі COMSOL.

Для розрахунку моделювався корпус МП з електронними компонентами, на поверхні корпусу задавалися умови природної конвекції і променевої тепловіддачі.

Розраховувався випадок горизонтальної орієнтації МП.

допущення:

- Теплом, що йде по проводах, нехтуємо.
- Допустима температура електронних компонентів $90\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Вихідні дані для теплового розрахунку

1) Температура навколишнього повітря, $550\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2) Коефіцієнт чорноти поверхні модуля 0,9 (покритий лаком);

3) матеріал корпусу і підстави - дюралюміній теплопровідністю 170 Вт / (м * К) ;

4) теплопровідність $AlN = 170\text{ Вт / (м * К)}$;

5) теплопровідність $AL_2O_3 = 30\text{ Вт / (м * К)}$;

6) Теплопровідність пайки 40 Вт / (м * К) ;

7) марка теплопроводящей пасты ТП-5А, виробництва ВАТ «Авангард» теплопровідністю 2 Вт / (м * К) ;

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ док-м.	Підпис	Дата		33

8) компаунд марки КПТД-1Т-12,5, виробництва компанії «НОМАКОН» теплопровідністю 0,8 Вт / (м * К);

9) Коефіцієнт теплообміну нижньої стінки МП - 2,7 Вт / (м * К);

10) Коефіцієнт теплообміну бічних стінок МП - 8,9 Вт / (м * К);

11) Коефіцієнт теплообміну верхньої стінки МП - 5,6 Вт / (м * К);

На рис. 9 представлений перший варіант розрахунку (а) - силова плата з А1N товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через теплопровідних пасту; МП залитий компаундом і встановлений в корпус.

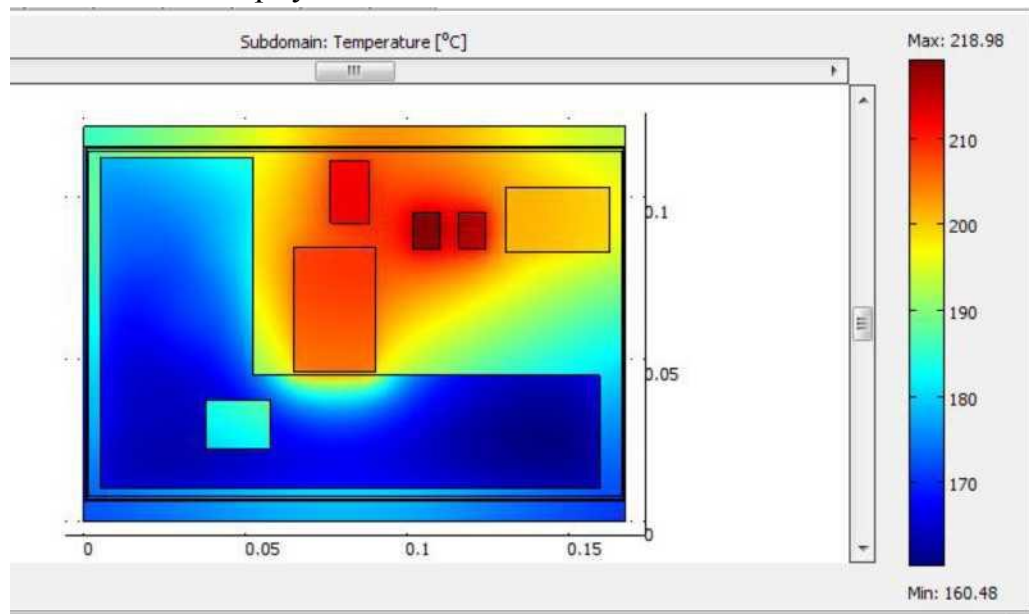


Рисунок - 9 Розподіл тепла. Варіант конструкції (а) для розрахунку МП (вид зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 160 ° С до 219 ° С. Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

На рис. 10 представлений другий варіант розрахунку (б) - силова плата з ЛІК товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через пайку; МП залитий компаундом і встановлений в корпус.

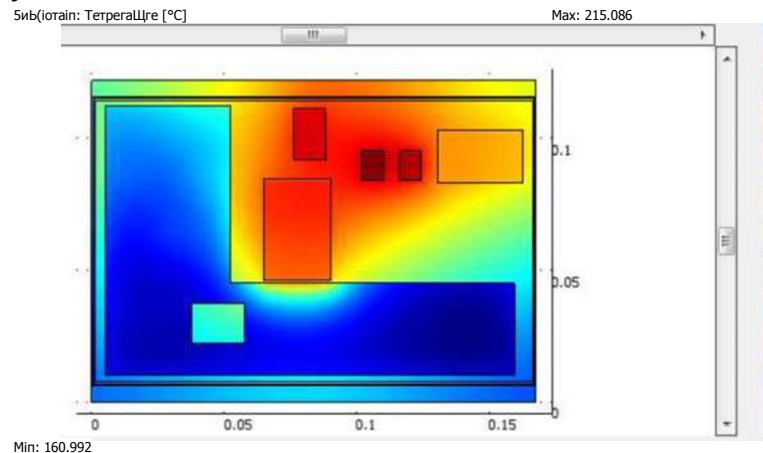


Рисунок - 10 Розподіл тепла. Варіант конструкції (б) для розрахунку МП (видгляд зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 161 ° С до 215 ° С. Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча. Разні ца температур і температурний максимум трохи знизилися через іспользова нія пайки, але несуттєво.

На рис. 11 представлений третій варіант розрахунку (в) - силова плата з AL2O3 товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через теплопровідних пасту; МП залитий компаундом і встановлений в корпус. На рис. 11 представлен третій варіант

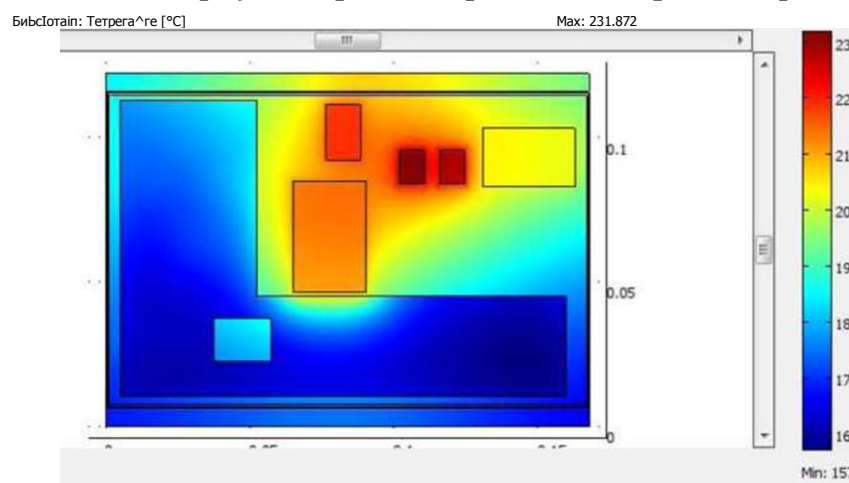


Рисунок - 11 Розподіл тепла. Варіант конструкції (в) для розрахунку МП (вид зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 157 ° С до 231 ° С. Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

Температурний максимум підвищився на 16°C в порівнянні з варіантом (б) через заміну ЛШ на Li_2O_3 .

На рис. 12 представлений четвертий варіант розрахунку (г) - силова плата з Li_2O_3 товщиною $\sim 1\text{mm}$ з'єднується з корпусом через пайку; МП залитий компаундом і встановлений в корпус.

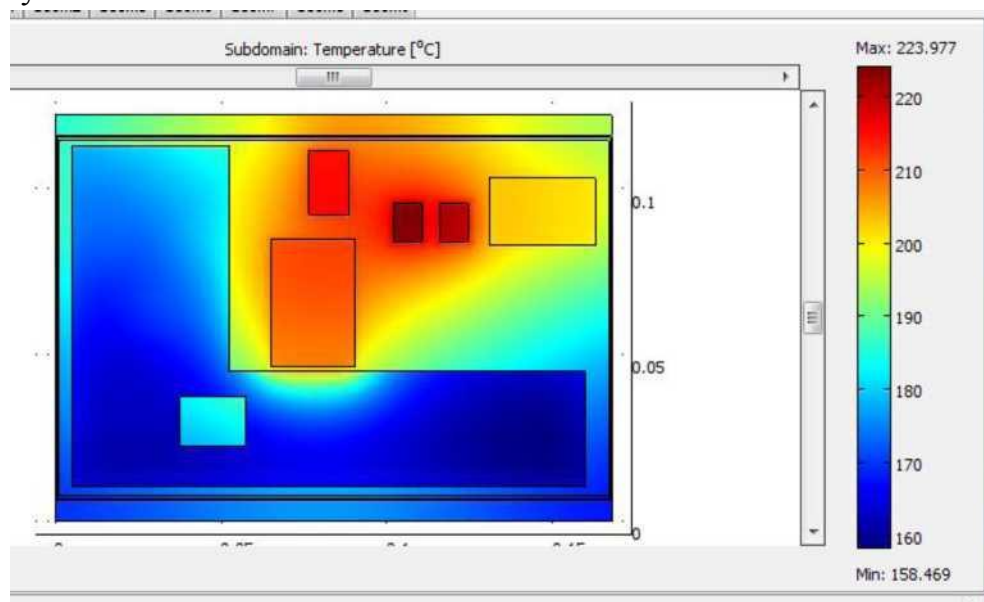


Рисунок - 12 Розподіл тепла. Варіант конструкції (г) для розрахунку МП (вид зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 158°C до 223°C . Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

Температурний максимум знизився на 8°C в порівнянні з варіантом (в) через використання пайки. Таким чином, при заміні AlN на Al_2O_3 теплопровідність з'єднання силової плати і підстави корпусу більш істотна.

На рис. 13 представлений п'ятий варіант розрахунку (д) - силова плата з AlN товщиною $\sim 1\text{mm}$ з'єднується з дюралюмінієвою підставою через теплопровідних пасту; МП без корпусу в компаунді.

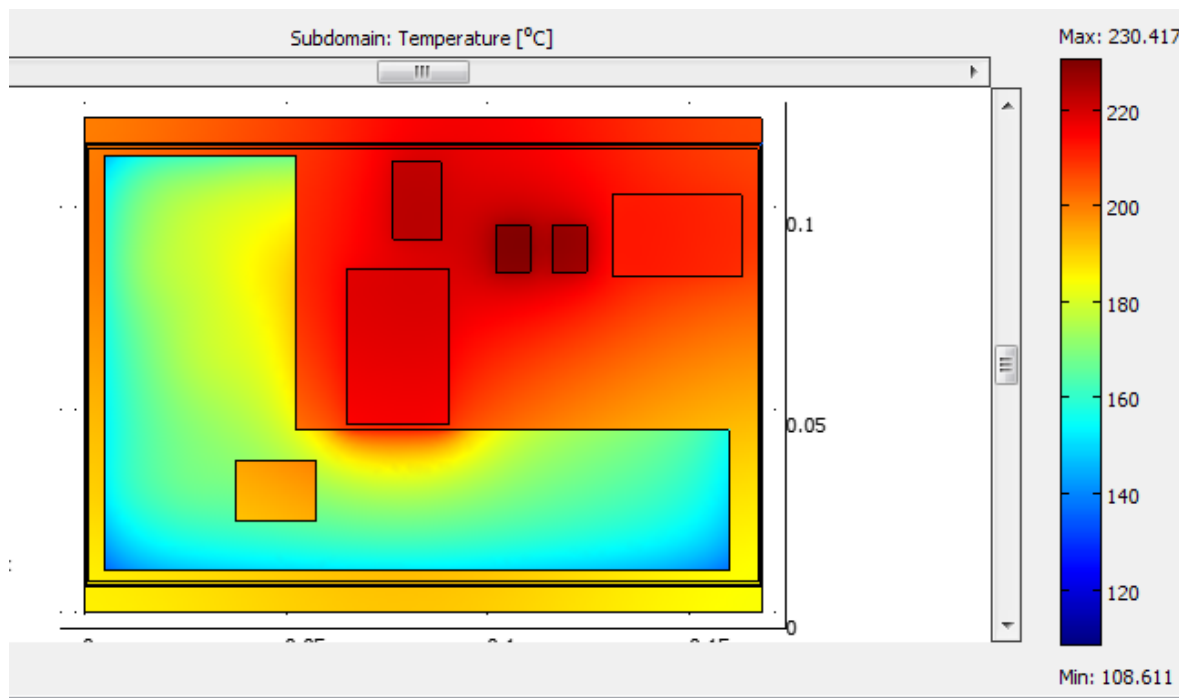


Рисунок - 13
Розподіл
л
тепла.
Варіант
конструкції
(д) для
розрах

унку МП (вид зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 108 ° С до 230 ° С. Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

Різниця температур на перший погляд стала дуже високою, проте значення близькі до 108 ° С знаходяться тільки між верхньою межею компаунда і середовища через низьку теплопровідність компаунда і відсутності високо теплопровідні вертикальних стінок корпусу. Різниця між максимальною температурою варіанта (а) і (д) істотна - 12 ° С.

На рис. 14 представлений шостий варіант розрахунку (е) - силова плата з AlN товщиною ~1мм з'єднується з дюралюмінієвим підставою через пайку; МП без корпуса в компаунді.

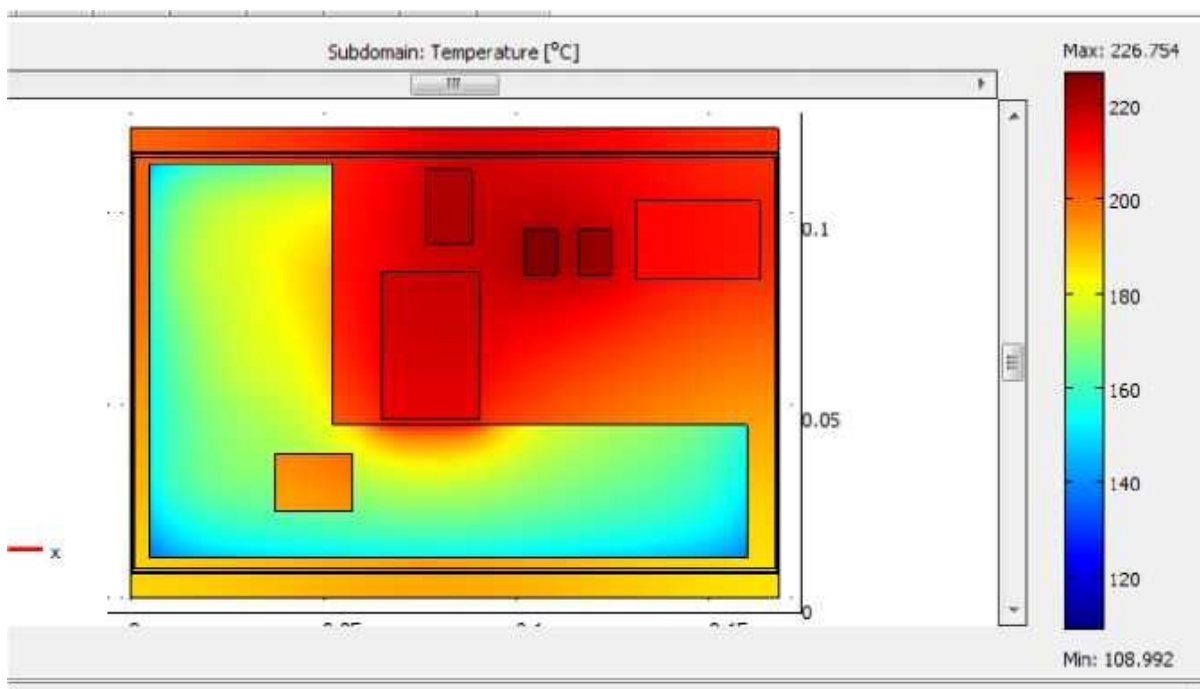
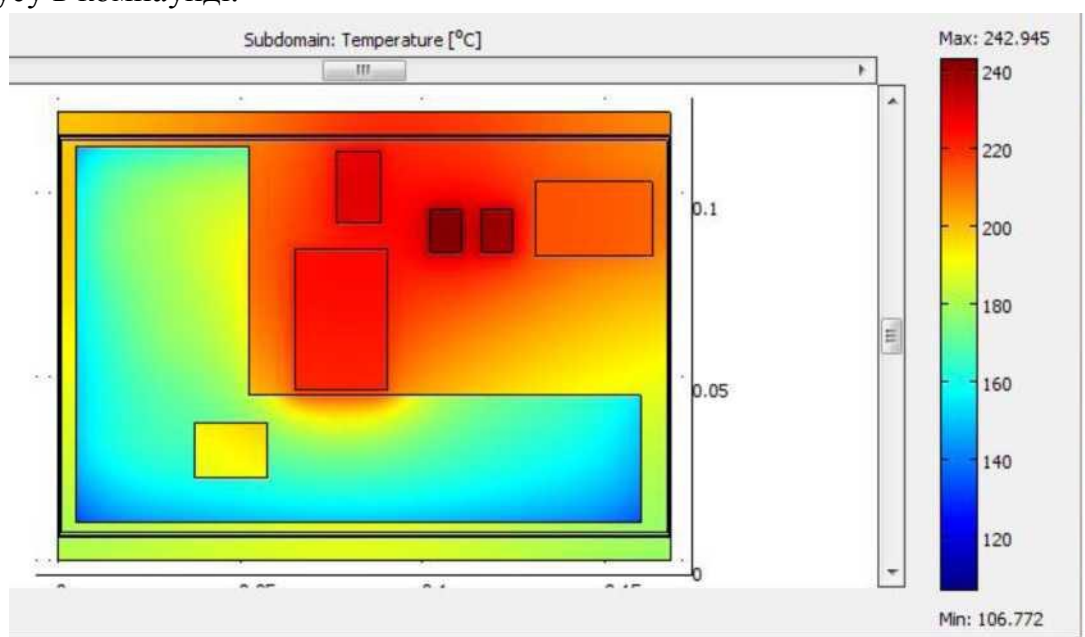


Рисунок - 14 Розподіл тепла. Варіант конструкції (е) для розрахунку МП (вигляд зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 108°C до 226°C . Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

Різниця між максимальною температурою варіанту (б) і (е) істотна - 11°C .

На рис. 15 представлений сьомий варіант розрахунку (ж) - силова плата з Al_2O_3 товщиною $\sim 1\text{mm}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставою через тепло-провідну пасту; МП без корпусу в компаунді.



Змн.	Адж.	№ док.	Підпис	Дата

ЗБР.171.051.004 ПЗ

Адж

38

Рисунок - 15 Розподіл тепла. Варіант конструкції (ж) для розрахунку МП (вид зверху, компаунд зроблений невидимим)

З рисунка видно що температура МП розподіляється від 106°C до 242°C . Найбільш нагрітими елементами є елементи випрямляча.

Різниця між максимальною температурою варіанти (в) і (ж) істотна - 11°C . Заміна ЛШ на Л12О3 підвищує максимальну температуру на 12°C (див. Варіант д).

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>	Апк
Змн.	Адж.	№ докum.	Підпис	Дата		39

3.2 Висновки за підсумками розрахунку тепла і рекомендації для тепловідведення.

За результатами розрахунку найкращим варіантом є варіант (б) - сілова плата з AlN товщиною ~1мм з'єднується з корпусом через пайку; МП залитий компаундом і встановлений в корпус. Максимальна температура в цьому випадку становить 215 ° С.

Найгіршим варіантом є варіант (ж) - силова плата з Al₂O₃ товщиною ~1мм з'єднується з дюралюмінієвим підставою через теплопровідний пасту; МП без корпусу в компаунді. Максимальна температура в цьому випадку становить 242 ° С.

Таким чином, навіть при найкращій конструкції МП необхідно доповнити теплоотведеніє: використання радіатора і / або примусової конвекції. Різниця між варіантами (б) і (ж) 27 ° С, може бути істотно зменшена при використанні ефективного додаткового теплоотведенія.

Температура спрацьовування теплового захисту 90 ° С. Тому необхідно дати рекомендації по ліквідації місцевих перегрівів в МП як мінімум до 90 ° С, які наведені нижче:

- обов'язкове застосування в номінальному режимі радіатора і примусової конвекції;
- мінімальне розумне значення необхідної площі поверхні радіатора розраховується за формулою:

$$S = P_T / (G_{\text{сумм}} / S_{\text{сумм}}) / (T_{\text{корпуса}} - T_{\text{середы}} - 3),$$

(1)

де P_T - сумарна потужність тепловиділення (120 Вт),

$G_{\text{сумм}}$ - сумарна теплова провідність між поверхнею МП і навколишнім середовищем (0,6 Вт / ° С),

$S_{\text{сумм}}$ - сумарна площа поверхні МП (0,044 м).

При підстановці значень отримуємо 0,3 м².

Однак дане значення площі поверхні радіатора є грубим, так як воно залежить, в тому числі від його форми і технічних характеристик. Матеріал такого радіатора повинен бути високо теплопровідний (наприклад, дюралюміній).

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ док.	Підпис	Дата		40

При відсутності радіатора можна розрахувати значення швидкості потоку повітря при примусовій конвекції. Найбільш ефективний обдув з боку ви соти, так як висота - найменший параметр з 3 вимірювань (0,013 м).

Було розраховано, що швидкість потоку (V_k) повинна становити не менше 7 м / с.

Хід обчислень наведено нижче:

$$Re = V_k \cdot H / \nu, \quad (2)$$

де H - висота корпусу, ν - кінематична вязкість середовища;

Ja - число Рейнольдса при примусовій конвекції.

$$Nu = 0,66 \cdot (Re^{0,5}) \cdot (Pr^{0,33}), \quad (3)$$

де Nu - число Нуссельта при примусовій конвекції;

Pr - число Прандтля.

$$\alpha_k = Nu \cdot \lambda / H, \quad (4)$$

де α_k - коефіцієнт конвективного теплообміну;

λ - теплопровідність середовища (повітря).

$$G_{\text{сумм}} = (\alpha_k + \alpha_l) \cdot S_{\text{сумм}}, \quad (5)$$

де α_l - стандартний коефіцієнт променистого теплообміну між корпусом і навколишнім середовищем, розраховується за формулою, зазначеною п. 1.4 звіту.

$$P_{\text{мах}} = (T_{\text{корпуса}} - T_{\text{середы}}) \cdot G_{\text{сумм}} / (1/\eta - 1), \quad (6)$$

де $P_{\text{мах}}$ - максимальна вихідна потужність МП без радіатора при необхідності конвекції;

η - ККД виробу.

При підстановці в формулу (2) $V_k = 7$ м/с отримуємо $P_{\text{мах}} = 1014$ Вт. Це означає що такий потік повітря може підтримувати температуру виробу 90 ° С при вихідній потужності виробу понад 1000 Вт.

Однак така швидкість потоку повітря є досить високою, тому рекомендується використовувати комбінований варіант - тепловідвід + принудительна конвекція. При кріпленні МП до радіатора необхідно забезпечити ви сокій теплової контакт з

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ доквм.	Підпис	Дата		41

радіатором за рахунок використання високотеплопровідної пасти і нарізного сполучення гвинтами;

Необхідно уточнити теплопровідність клеїв, які використовуються в трансформаторах, і, при наявності, вибрати більш теплопровідні клеї для уменшення теплового опору в силовому трансформаторі.

Необхідно розглянути можливість зменшення електричного опору на підвідних мідних контактах силового трансформатора (наприклад, за рахунок збільшення поперечного перерізу, поліпшення електричного контакту з сердечником і т. Д.

3.3 Розрахунок максимальної вихідної потужності модулів живлення (далі МЖ) без радіатора.

Вихідні данні

Таблиця -1

Довжина корпусу, м (L)	0,168
Ширина корпусу, м (W)	0,11
Висота корпусу, м (H)	0,013
Коефіцієнт чорноти корпусу (K)	0,9
Т середовища, ° С	25
Т корпусу, ° С	85
Число Прандтля (Pr)	0,697
Теплопровідність середовища (λ)	0,03003
Коефіцієнт об'ємного розширення середовища (B)	0,00286
Кінематична густина середовища (ν)	0,00002076
ККД виробу (η)	0,80 (ККД при 80 Вт)

Обґрунтування вибору вихідних даних

Коефіцієнт чорноти корпусу прийнятий рівним 0,9, так як це коефіцієнт чорноти лаків. Корпус МЖ можна покрити дуже тонким шаром лаку (50 мкм), що практично не погіршить теплопровідність корпусу, однак збільшить значення

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		42

коефіцієнта чорноти до 0,9, тим самим значно поліпшивши теплопередачу випромінюванням. Крім того, при поганій поліровці зовнішньої поверхні корпусу, а також накопиченні бруду і жиру в процесі експлуатації підвищується значення коефіцієнта чорноти також до 0,9 без додаткового покриття лаком.

Число Прандтля (Pr), теплопровідність середовища (λ), коефіцієнт об'ємного розширення середовища (B), кінематична в'язкість середовища (ν) взяті з довідників для середньоарифметичної температури (Т середовища і Т корпусу) - Проведення розрахунку з використанням довідників

Розрахунок проводився за формулами, взятим з довідників з теплофізики (список літератури прикладений в кінці звіту).

Максимальна вихідна потужність:

$$(P_{\max}) = (T_{\text{корпуса}} - T_{\text{середовища}}) / R_{\text{сумм}} / (1/\eta - 1), \quad (7)$$

де $R_{\text{сумм}}$ – суммарний тепловий опір МЖ, яке дорівнює:

$$R_{\text{сумм}} = 1 / ((\alpha_{\text{к верх}} + \alpha_{\text{л}}) * L * W + (\alpha_{\text{к ниж}} + \alpha_{\text{л}}) * L * W + (\alpha_{\text{к верт}} + \alpha_{\text{л}}) * 2 * H * (L + W)),$$

(8)

$\alpha_{\text{к верх}}$ - коефіцієнт конвективного теплообмена верхньої горизонтальної стінки, который равен:

$$\alpha_{\text{к верх}} = N_{\text{уверх}} * \lambda / W \quad (9)$$

$\alpha_{\text{к ниж}}$ - коефіцієнт конвективного теплообмена нижньої горизонтальної стінки, который равен:

$$\alpha_{\text{к ниж}} = N_{\text{униж}} * \lambda / W \quad (10)$$

$\alpha_{\text{к верт}}$ - коефіцієнт конвективного теплообмена вертикальної стінки, который равен:

$$\alpha_{\text{к верт}} = N_{\text{уверт}} * \lambda / H \quad (11)$$

$\alpha_{\text{л}}$ - коефіцієнт лучистого теплообмена, который равен:

$$\alpha_{\text{л}} = K * 5,67 * (((T_{\text{корпуса}} + 273,15) / 100)^4 - ((T_{\text{середовища}} + 273,15) / 100)^4) / (T_{\text{корпуса}} - T_{\text{середовища}}). \quad (12)$$

$N_{\text{уверх}}$ - число нуссельта для верхньої горизонтальної стінки, которое равно:

$$N_{\text{уверх}} = 0,54 * (Pr * Gr_{\text{гор}})^{0,25} \quad (13)$$

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ док.	Підпис	Дата		43

Книж -число нуссельта для нижньої горизонтальної стінки, яке дорівнює:

$$Nu_{\text{ниж}}=0,27*(Pr*Gr_{\text{гор}})^{0,25} \quad (14)$$

$Nu_{\text{верт}}$ -число нуссельта для вертикальної стінки, яке дорівнює:

$$Nu_{\text{верт}}= 0,68+0,67*(Gr_{\text{верт}}*Pr)^{0,25}/(1+(0,492/Pr)^{1/4})^{4/9} \quad (15)$$

$Gr_{\text{гор}}$ - число грасгофа для горизонтальної стінки, яке дорівнює:

$$Gr_{\text{гор}}= B*9,8066*(T_{\text{корпуса}}-T_{\text{середовища}})*W^3/\nu^2 \quad (16)$$

$Gr_{\text{верт}}$ - число грасгофа для вертикальної стінки, яке дорівнює:

$$Gr_{\text{верт}}= B*9,8066*(T_{\text{корпуса}}-T_{\text{середовища}})*H^3/\nu^2 \quad (17)$$

Таким чином при підстановці вихідних умов отримуємо 140,7 Вт. Це означає що МЖ можна навантажити на 80 Вт. Крім того МЖ додатково можна навантажити на 60,7 Вт без додаткового відводу тепла.

Проведення розрахунку з використанням Comsol

Розрахунок, проведений в 2.1.3 можна підтвердити більш точним методом в пакеті Comsol. Потужності компонентів пропорційно знижені з урахуванням ККД=80%. Тобто сумарна потужність тепловиділення при 80 Вт складе 16 Вт.

Для розрахунку використовуємо найгірший варіант (ж) - силова плата з Al_2O_3 товщиною $\sim 1\text{мм}$ з'єднується з дюралюмінієвим підставкою через теплопровідну пасту; МЖ без корпусу в компаунді.

Результат розрахунку показаний на рис. 11

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		44

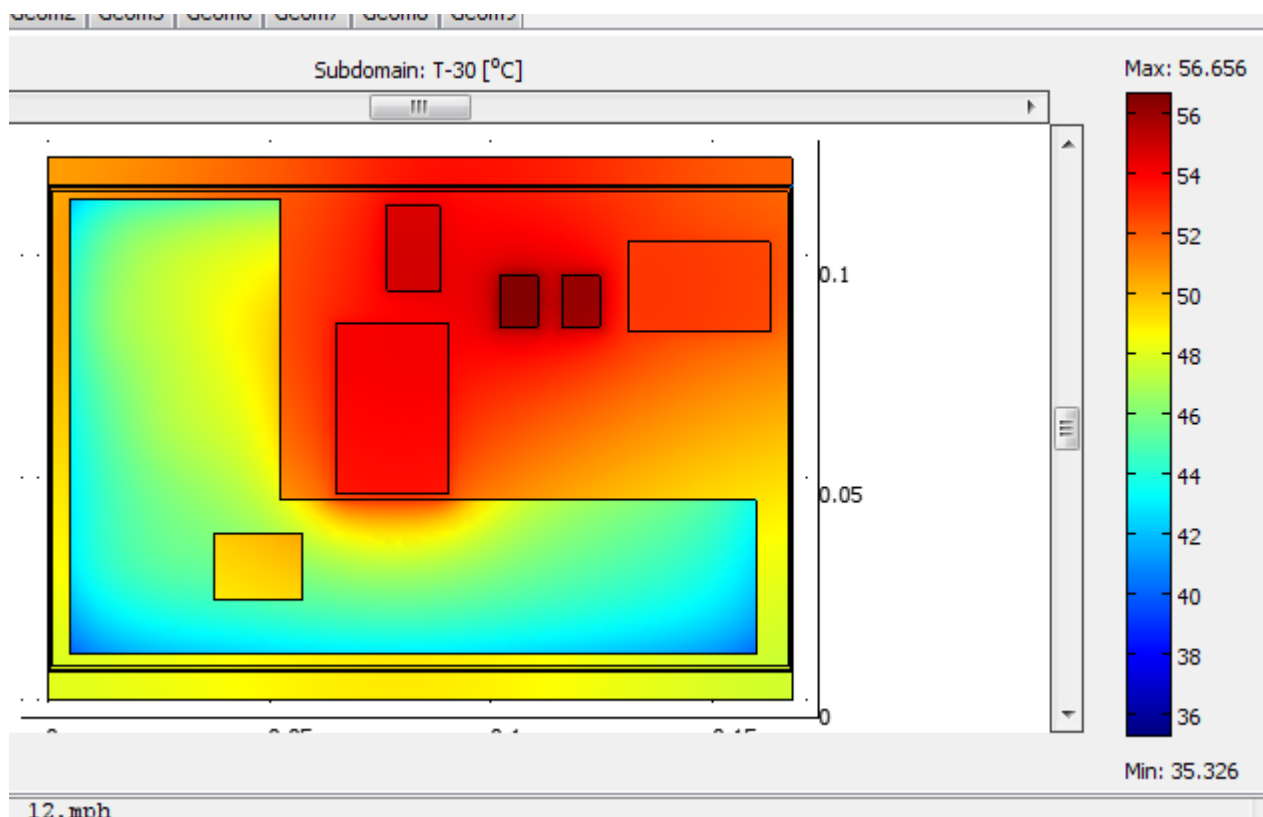


Рисунок - 17 розподіл температури МЖ при вихідній потужності 80Вт.

Максимальна температура МЖ становить 56°C при температурі навколишнього середовища 25°C і потужності тепловиділень 80 Вт.

Виходячи з даних, отриманих нами в ході дослідження, можна зробити висновок про те, що існує необхідність в радіаторі або примусової конвекції. Але дана робота проводилася для малогабаритного джерела живлення. Це означає, що просте збільшення площі керамічної підкладки може забезпечити більш ефективне відведення тепла, ніж використання складного радіатора з вентилятором.

Розділ 4. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДЛОЖОК В КОРПУСІ.

Цілі:

- перевірка опору ізоляції між топологією і корпусом металокерамічних DBC плат;
- дослідження стійкості зразків до дії термоциклів, на вібро-міцність;
- перевірка працездатності електронних компонентів, встановлених на DBC плати.

Для проведення випробувань готують зразки металокерамічних DBC плат:

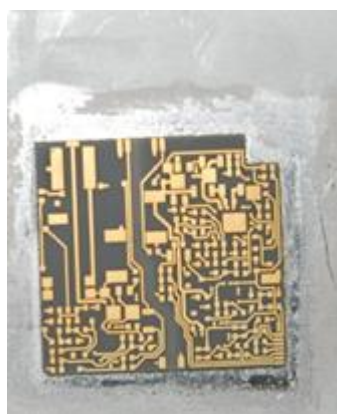


Рисунок - 18 Зразок № 1, що складається з металокерамічної DBC плати - 1шт. встановленими компонентами, яка кріпиться до Al корпусу за допомогою пайки методом оплавлення в конвекційної печі;

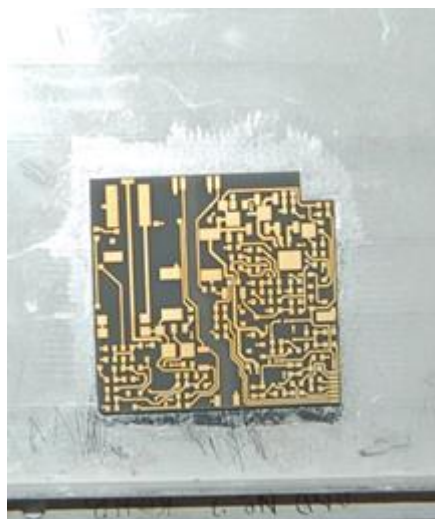


Рисунок - 19 зразок № 2, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до ^ корпусу за допомогою пайки методом оплавлення в конвекційної печі;

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата		46

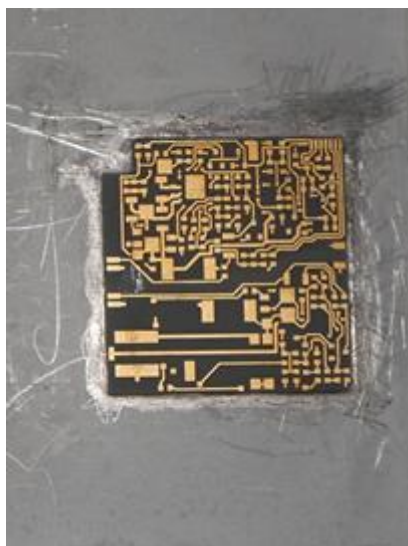


Рисунок - 20 зразок №3, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до AL корпусу за допомогою вакуумної пайки в мурА1Niної кислоти;



Рисунок - 21 зразок № 4, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до Сі корпусу за допомогою вакуумної пайки в мурА1Niної кислоти;

- зразок № 5, що складається з металокерамічної DBC плати, з установ-ленними компонентами, яка кріпиться до AL корпусу за допомогою теплопровідної пасти ТП-5А;

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		47

- зразок № 6, що складається з металокерамічної DBC плати, з установ-ленними компонентами, яка кріпиться до Сі корпусу за допомогою теплопровідної пасти ТП-5А.



Рисунок - 22 зразок № 7, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до AL корпусу за допомогою парофазної вакуумної пайки;



Рисунок - 23 зразок № 8, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до Сі корпусу за допомогою парофазної вакуумної пайки;

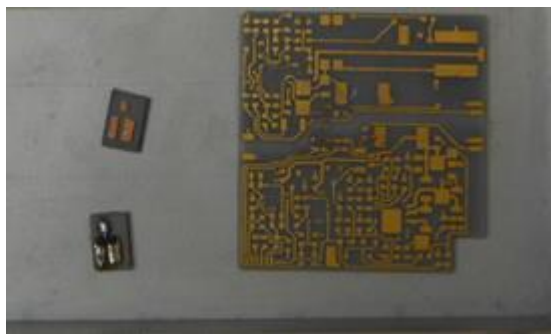


Рисунок - 24 зразок № 9, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до AL корпусу за допомогою плівки АИеШт 5025Е;

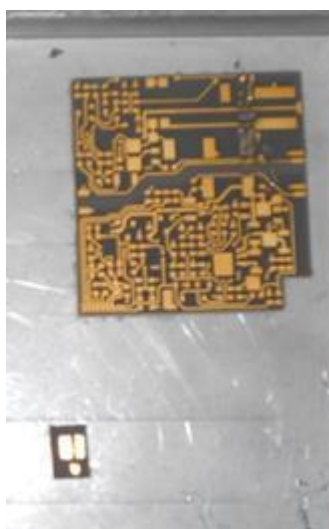


Рисунок - 25 зразок № 10, що складається з металокерамічної DBC, з встановленими компонентами, яка кріпиться до Сі корпусу за допомогою плівки АИеШт 5025Е;

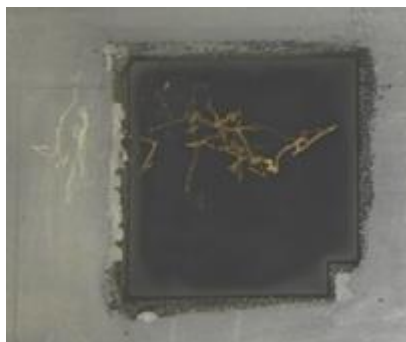


Рисунок - 26 зразок № 11, що складається з металокерамічної DBC плати, з встановленими компонентами, яка кріпиться до AL корпусу за допомогою клею КТК-1;

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		49



Рисунок - 27 зразок № 12, що складається з металокерамічної DBC, з встановленими компонентами, яка кріпиться до Сі корпусу за допомогою клею КТК-1;

4.1 Перевірка опору ізоляції

Перевірка електричного опору ізоляції металокерамічних DBC і DPC плат проводиться відповідно до вимог розділу 10 ГОСТ РВ 20.57.310 з наступними доповненнями:

Випробування проводиться при постійній напрузі 2500 У.

Випробування проводять у ПКУ.

Мегаомметр підключають між найближчими до краю контактними площинами і корпусом.

Показання відраховують через 1 хв після подачі вимірювального напруги або менший час, якщо опір ізоляції залишається незмінним.

Зразки вважаються такими, що витримали випробування, якщо опір ізоляції між контактними майданчиками і корпусом становить не менше 1Гом. При значенні опору ізоляції в межах від 100 МОм до 1 ГОм успішність випробування визначається окремо в кожному конкретному випадку.

Випробування на вплив зміни температури середовища (термоциклів).

Випробування на вплив зміни температури середовища проводять по ГОСТ РВ 20.57.416 метод 205-2 з наступними доповненнями:

Випробування проводять без подачі напруги живлення.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ доквм.	Підпис	Дата		50

Встановити знижену температуру мінус $(60 \pm 1)^\circ \text{C}$. Витримати при по-ніженіє температурі в одному циклі - 30 хв. Встановити підвищену температуру $(125 \pm 1)^\circ \text{C}$. Витримати при підвищеній температурі в одному циклі - 30 хв. Швидкість зміни температури не більше $(3-5)^\circ \text{C} / \text{хв}$. Кількість термо-циклів - 10. Час витримки зразків в ПКУ після 10 циклів - не менше 2 ч.

Зразки вважаються такими, що витримали випробування, якщо після 10 термоциклов зберігається зовнішній вигляд плат і корпусу, відсутні відколи, тріщини та інші дефекти на платах і корпусі, не порушено якість з'єднань (пайка, паста, клей). Опір ізоляції після випробування повинно відповідати п. 4.1.

Випробування на вибропрочність при впливі синусоїдальної вібрації

Трьохоктавні піддіапазони: 10 Гц, 16 Гц, 20 Гц, 25 Гц, 40 Гц, 80 Гц, 100 Гц, 160 Гц, 200 Гц, 250 Гц, 400 Гц, 500 Гц. Час витримки на верхній частоті, певне для третьєоктавного поддіапазова частот - 20 хв. Загальна тривалість впливу вібрації по всьому діапазону частот - 6 годин. Загальна тривалість впливу вібрації в кожному третьєоктавном поддіапазоне частот - 20 хв. У час, що залишився виріб витримують на нижній частоті - 10 Гц. Амплітуда переміщення - 1мм. Амплітуда прискорення - $50 \text{ м} / \text{с}^2$ (5g). Випробування проводять при впливі вібрації в трьох взаємно перпендикулярних напрямках по відношенню до зразків. При цьому загальна тривалість впливу вібрації повинна порівну розподілятися між напрямками впливу. Зразки вважаються такими, що витримали випробування, якщо після випробування зберігається зовнішній вигляд плат і корпусу, відсутні відколи, тріщини та інші дефекти на платах і корпусі, не порушено якість з'єднань (пайка, паста, клей). Опір ізоляції після випробування повинно відповідати п. 4.1.

Перелік приладів і обладнання.

Таблиця 2

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ доквм.	Підпис	Дата		51

	Наименование, тип прибора (оборудования)	Диапазон измерения	Погрешность %
	Источник питания Agilent N8762A	0 - 600В, 0- 8,5А 5100W	$U < 0,2$ $I < 0,4$
	Электронная нагрузка АКИП-1306	60В/1200Вт/12 0А	0,5Хуст
	Осциллограф Tektronix TDS 2024C	200 МГц; 600 В	3
	Мультиметр Fluke 87 v	Переменное 0,6В - 1000В	1
		Постоянное 0,6В - 1000В	0,05

Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗБР.171.051.004 ПЗ

Арк

4.2 Результати випробувань

5.1 Результати випробувань до термоциклов

Таблиця - 3

	Сопротив- ление изоляции	Механічні пошкодження
	ББС	
Зразок 1 Конт. пайка Al	> 1 ГОм	Возможен Деформація лівого бокового ребра (точно не про- верялось)
Зразок 2 Конт. пайка Си	> 1 ГОм	Возможен Деформація лівого бокового ребра (точно не про- верялось)
Зразок 3 Кисл. пайка Al	> 150 МОм	Деформація лівого бокового ребра (Рис. 1)
Зразок 4 Кисл. пайка Си	> 250 МОм	Отсоединение меди от керамики в одной контактной площадке (возможно при транспортировании), Деформація лівого бокового ребра (Рис. 1)
Зразок 5 ТП-5А ЛП		
Зразок 6 ТП-5А Си		
Зразок 7 Пар пайк ЛП	> 100 ГОм	Выгиб левого бокового ребра
Зразок 8 Пар пайк Си	> 100 ГОм	Выгиб левого бокового ребра
Зразок 9 АЫеШш Al	39 МОм	Механических повреждений или изменений не обнару-

		жено
Зразок 10 АЫеШш Си	6 МОм	Механических повреждений или изменений не обнаружено
Зразок 11 КТК-1 А1	> 100 ГОм	Механических повреждений или изменений не обнаружено
Зразок 12 КТК-1 Си	0,6 МОм	Механических повреждений или изменений не обнаружено

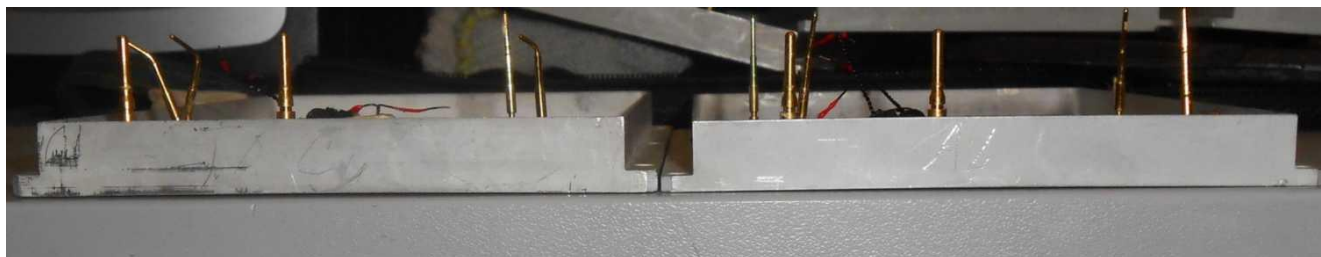


Рисунок - 28 Зразки №4 и №3 (справа - AL)

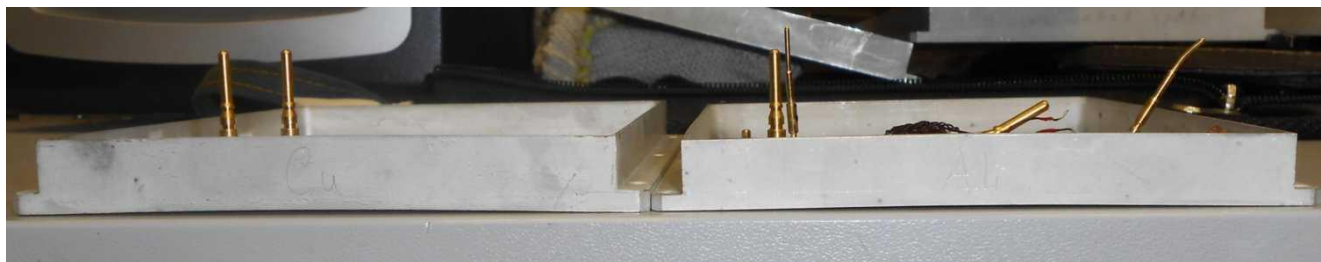


Рисунок - 29 Зразки №8 и №7 (справа - AL)

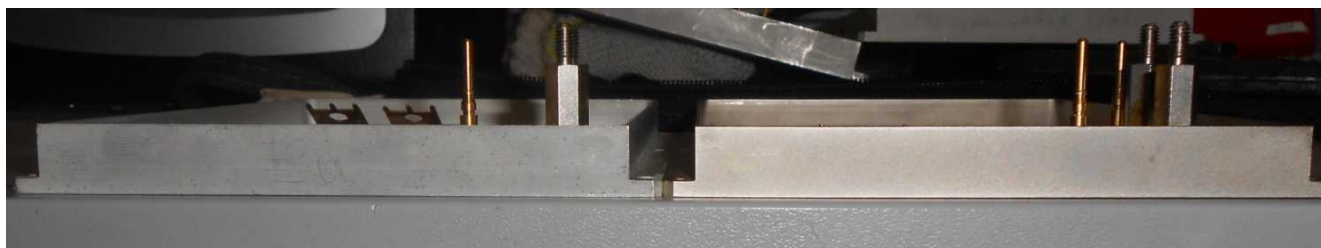


Рисунок - 30 Зразки №10 и №9 (справа - AL)

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		54



Рисунок - 31 Зразки №11 и №12 (справа - AL)

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
						55
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Результати випробувань після термоциклів

Таблиця – 4

	Сопротивление изоляции	Механічні пошкодження
	ББС	
Зразок 1 Конт. пайка А1	> 1 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 2 Конт. пайка Си	> 1 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 3 Кисл. пайка А1	> 150 МОм	Деформація лівого бокового ребра збільшилась
Зразок 4 Кисл. пайка Си	> 250 МОм	Отсоединение меди от керамики в одной контактной площадке (возможно при транспортировании), Деформація лівого бокового ребра
Зразок 5 ТП-5А М		
Зразок 6 ТП-5А Си		
Зразок 7 Пар пайк А1	10 МОм	Деформація лівого бокового ребра увеличился
Зразок 8 Пар пайк Си	> 100 ГОм	Деформація лівого бокового ребра увеличился
Зразок 9 АЬеШш А1	> 100 ГОм	Механічних пошкоджень або змінень не виявлено

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата		56

Зразок 10 АЬеШш Си	> 100 ГОм	Механічних пошкоджень або змінень не виявлено
-----------------------	-----------	--

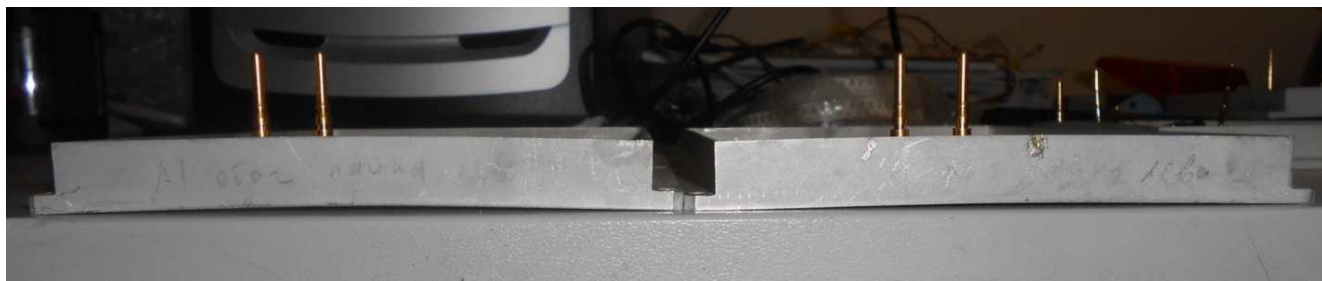


Рисунок - 32 Зразки №1 и №2 (слева - AL) після термоциклів.

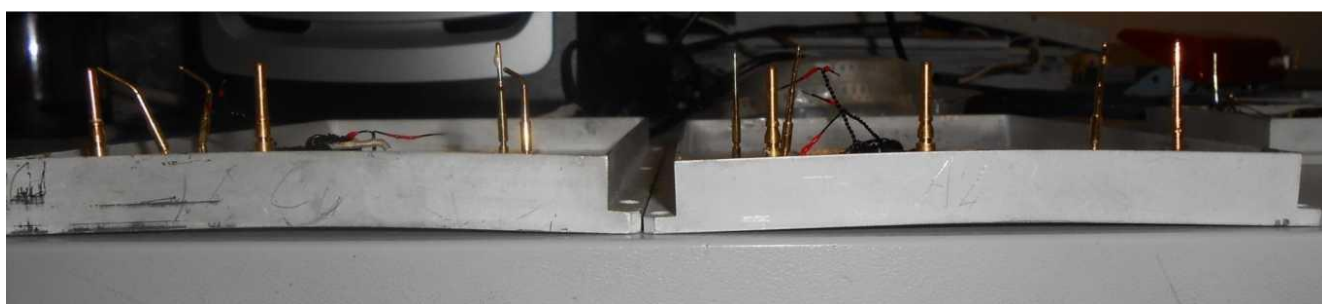


Рисунок - 33 Зразки №4 и №3 (справа - AL) після термоциклів.

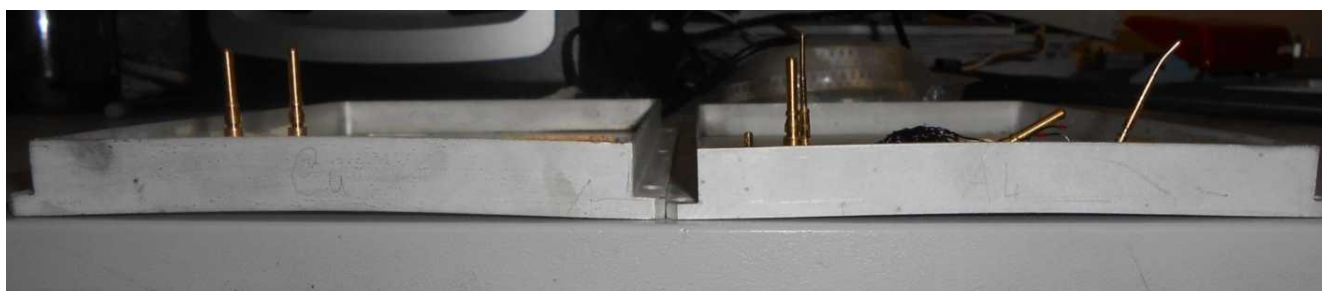


Рисунок - 34 Зразки №8 и №7 (справа - Al) після термоциклів.

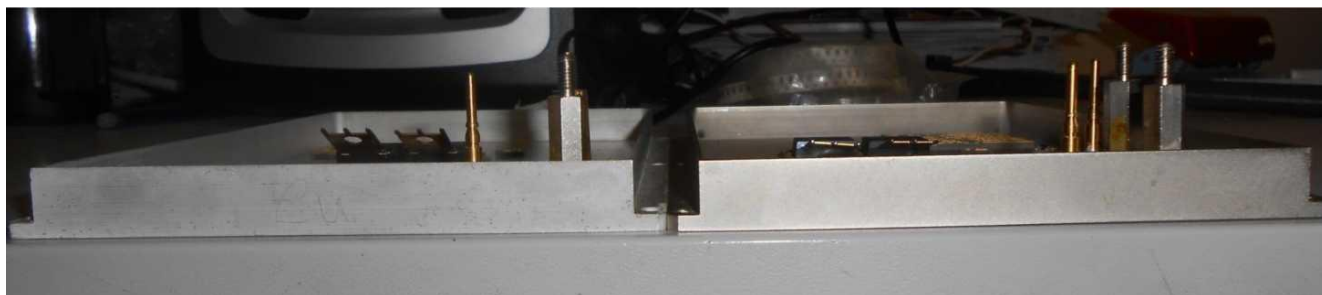


Рисунок 35 Зразки №10 и №9 (справа - Al) після термоциклів.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
						57
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата		

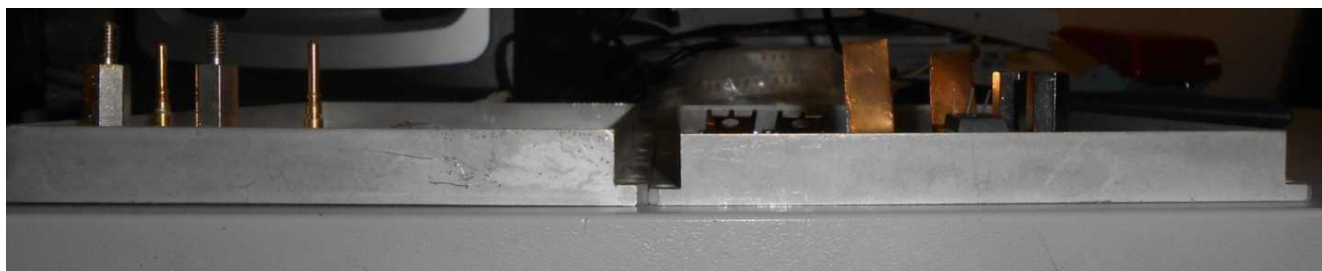


Рисунок - 36 Зразки №12 и №11 (справа - AL) після термоциклів.

Таблиця - 5 Результати випробувань після вібрації

	Опір ізоляції	Механічні пошкодження
	<i>BBC</i>	
Зразок 1 Конт. пайка А1	> 1 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 2 Конт. пайка Си	> 1 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 3 Кисл. пайка А1	> 1 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 4 Кисл. пайка Си	> 1 ГОм	Отсоединение меди от керамики в одной контактной площадке (возможно при транспортировании), Деформація лівого бокового ребра
Зразок 5		

ТП-5А М		
Зразок 6 ТП-5А Си		
Зразок 7 Пар пайк А1	1 МОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 8 Пар пайка Си	> 100 ГОм	Деформація лівого бокового ребра
Зразок 9 АЫеШш А1	> 100 ГОм	Відламана одна контактна площадка від плати DBC (Рис. 21)
Зразок 10 АЫеШш Си	> 100 ГОм	Відламана одна контактна площадка від плати DBC (Рис. 22)
Зразок 11 КТК-1 А1	11 МОм	Механічних пошкоджень або змінень не виявлено
Зразок 12 КТК-1 Си	> 500 Мом (350 МОм)	Відламана одна контактна площадка від плати DBC (Рис. 23)

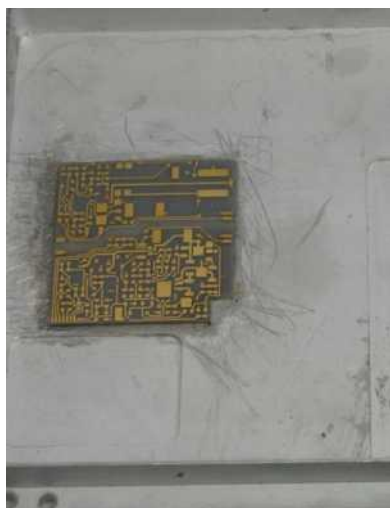


Рисунок - 37 Зразок №4 після термоциклів и испытаний на вибра-цію.

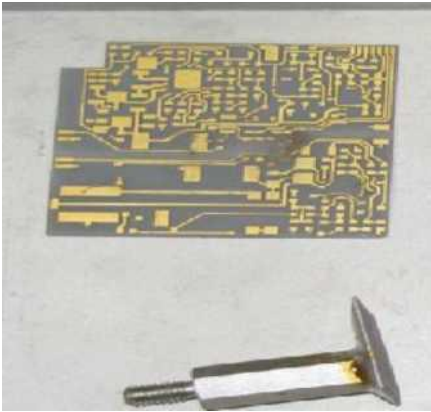


Рисунок - 38 Зразок №9 після термоциклів и испытаний на виб-рацію.

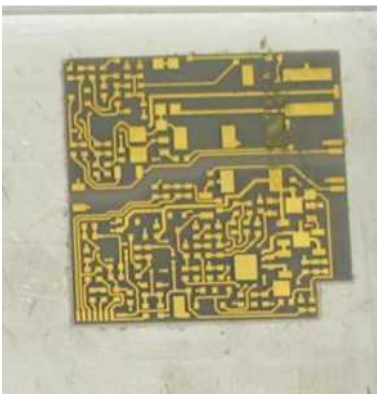


Рисунок - 39 Зразок №10 після термоциклів и испытаний на виб-рацію.

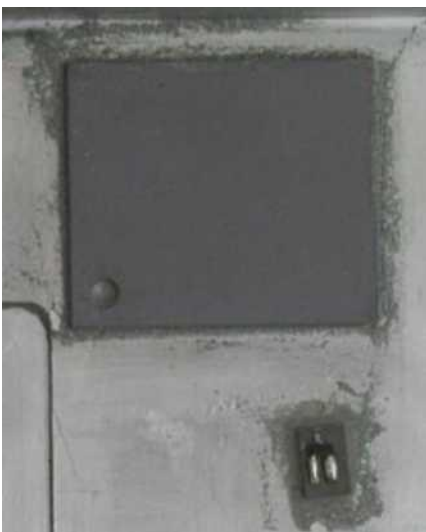


Рисунок - 40 Зразок №12 після термоциклов і випробувань на вібрацію.

Відшаровування мідної топології DBC плат не спостерігається (крім зразка №4 - ймовірно внаслідок напування елементів або транспорті рованія). Відшаровування DBC плат від корпусу не спостерігається. Тріщини і відколи в DBC платах не спостерігається. Опір ізоляції між мідної топологією і корпусом в деяких випадках відповідає необ ходімим даними. Деякі зразки не відповідають заявленим па раметрам (№3, 4, 7, 9, 10, 11, 12). Корпус з алюмінію більш

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		60

схильний до деформації, ніж з міді (швидше за все через більшу відмінності ТКР між металом і керамікою).

Мідні і алюмінієві корпусу товщиною до 2 мм в поєднанні з пайкою не можуть застосовуватися разом з керамікою AlN і Al_2O_3 , так як це веде до деформації (вигин) корпусу (розміри 168x122x13). Також зауважимо, що корпус з алюмінію більш схильний до деформації, ніж з міді (швидше за все через більшу відмінності ТКР між металом і керамікою). У зразку 7 опір ізоляції DBC нижче норми можливо через неотрабованість процесу парофазного пайки або процесу лазерного різання DBC. Таким чином, зразки №1, №2, №3, №4, №7, №8 можуть іс користуватися при зміні матеріалу корпусу на матеріал близький за ТКР до кераміки (5-8 ppm) або збільшенні підстави корпусу - не менше 3 мм.

При використанні плівки Ablefilm деформації корпусу не від-ходить. Однак при випробуванні на вібропрочність одна з частин DBC от соєдінілась (відламалася) від корпусу. Причиною цього стало велике число повітряних порожнин (виявлені методом акустичної рентгеноскопії), які утворилися при склеюванні через велику шорсткості корпусів. Опір ізоляції після всіх випробувань в нормі. Учі тивая високу теплопровідність плівки (6,5 Вт / мК) застосування образ цов №9 і №10 може бути ефективним після зменшення шероховатості корпусів.

При використанні клею КТК-1 деформації корпусу не відбувається. Однак при випробуванні на вібропрочність одна з частин DBC отсоєдіні лась (відламалася) від мідного корпусу. В алюмінієвому корпусі отсоєді ненія DBC не відбулося. Причини від'єднання частини DBC в мідному корпусі не встановлені, але вони точно не пов'язані з пустотами в клейовому з'єднанні (з'єднання досліджені методом акустичної рентгеноскопії). Крім того, опір ізоляції приклеєних плат DBC нижче норми. Причиною цього можливо є неотрабованість процесу приклеювання або процесу лазерного різання DBC. Таким чином, іспользова ніє зразків №11 і №12 може виявитися ефективним після усунення причини зниження опору ізоляції. Однак, теплопровідність клею КТК-1 найнижча в порівнянні з іншими варіантами (2 Вт / мК).

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Апк
Змн.	Апк.	№ докum.	Підпис	Дата		61

Висновок: кріплення плат методом пайки приведе до більш міцному з'єднанню. Вибираючи матеріал корпусу товщі, можна домогтися надійно го кріплення «плата-корпус».

ВИСНОВКИ

Представлені ЕБС - плати, виготовлені за допомогою лазера, економлять час і мають саме тією топологією, яка необхідна розробникам. Розроблена технологія дозволяє виготовляти прецизійні мідно-керамічні плати з потрібною топологією і формою з високою швидкістю (1 шт. 5x5 см за 4-5 годин). Конструктивні розробки, запропоновані нами, відповідають вимогам, що пред'являються в потужних (1000 Вт) малогабаритних джерел живлення спеціального призначення.

При проведенні теплового дослідження виготовлених плат, з'ясовується, що навіть при найкращій конструкції МП необхідно додаткове теплоотведення: використання радіатора і / або примусової конвекції. Однак, цей висновок є актуальним для подальшого дослідження малогабаритних джерел живлення спеціального призначення. Використовуючи мідно-керамічні плати зі збільшеною площею, можна домогтися повної відсутності необхідності охолодження, як то радіатор за рахунок збільшення ширини так званої «теплової труби», що виділяється елементами плати. Отже, головним завданням поліпшення відводу тепла в багатошарових конструкціях є зниження теплового опору.

Важливим є і щільність торкання напівпровідникового елемента з контактною площадкою. При відсутності з'єднання утворюється тепловий бар'єр, що знижує теплообмін і якраз перегрівається виріб. Експериментальне дослідження привело до доказу, що кріплення плат методом пайки приведе до більш міцного з'єднання. Вибираючи матеріал корпусу товщі, можна домогтися надійного кріплення «плата-корпус».

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дата		63

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Юрген Шульц-Хардер д-р. Медно-керамические подложки DBC: новые возможности, перспективы и проблемы создания нового поколения изделий силовой электроники.- Компоненты и технологии №3, 2005.
2. А.А. Астахов, Д.Д. Каримбаев, А.О. Мисюнас, В.Г. Христюков. Оптимизация тепловых режимов в конструкциях световых приборов на полупроводниковых источниках света.- Доклады ТУСУРа № 2, 2011.
3. Эдди Бевиль, Афшин Одабаз, Майк Стоковски. DC/DC преобразователь с повышенной мощностью, меньшими размерами и лучшим охлаждением, локализуемым возле нагрузки.- Компоненты и технологии №6, 2013.
4. Андрей Колпаков. Правда и миф о теплопроводящей пасте.- Семикрон №5, 2006.
5. Freyberg M. Application of thermal paste for power modules without base plate.- Semikron International, 1999.
6. Колпаков А. И. SKiiP - интеллектуальные силовые IGBT модули.- Компоненты и технологии №1, 2003.
7. Колпаков А. И. Semitor как альтернатива ТО.- Силовая электроника №2, 2004.
8. XLamp Long-Term Lumen Maintenance [Электронный ресурс]. [http : //www.cree.com/products/pdf/XLampXR-E_lumen_maintenance.pdf](http://www.cree.com/products/pdf/XLampXR-E_lumen_maintenance.pdf)
9. Peter Marx. LED-Anwendungstechni.- Licht, 2009. - с. 184-188.
- 10.DPC (Direct Plated Copper) Metallized Substrate [Электронный ресурс].
- 11.Светодиодное освещение: справочник / Philips [Электронный ресурс].
- 12.Исламгазина Л. Применение различных материалов в системах охлаждения силовых полупроводниковых приборов, в том числе силовых модулей и твердотельных реле.- Силовая электроника №3, 2005.- с. 96-99.
- 13.Г.Н. Дульнев. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре.- Учебник для вузов. М. Высш.шк., 1984.
- 14.А.В. Чечеткин, Н.А. Занемонец. Теплотехника.- Учеб. Для хим.- технол. Спец. вузов. М. Высш.шк., 1986.
- 15.Х. Уонг. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров.- М.: Атомиздат, 1979 г.
- 16.Юрген Шульц_Хардер. Медно-керамические подложки DBC: новые возможности, перспективы и проблемы создания нового поколения изделий силовой электроники.- Компоненты и технологии, № 3, 2005.
- 17.Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов.- изд. Радио и Связь, 1990.
- 18.Лежнёва А. А., Калинин А. М., Никулина О.С. Лазерная технология изготовления металло-керамических DBC плат.- Сборник научных трудов

					<i>ЗБР.171.051.004 ПЗ</i>	Апк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

аспирантов, соискателей и студентов магистерской подготовки ОАО «Авангард», Вып. 6, 2014.- с. 139-142.

19.Дульнев Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных устройствах.- Госэнергиздат, 1963.

20.Лукин А. В. Новые направления развития преобразователей постоянно-го напряжения (по материалам зарубежной печати).- Электропитание № 2, 2011.

21.Справочно-информационный портал по источникам питания <http://powel.ru/producers/bothhand/>

22.Леонов А. Источники питания Arch для промышленности, медицинской техники и телекоммуникаций.- Компоненты и технологии, № 10, 2009.

23.Frequently Asked Questions Sorensen SGI and SGA Series -http://www.programmablepower.com/support/FAQs/FAQ_SGA_SGI.pdf

24.Sorensen SGI Series DC Power Supplies. Operation Manual -http://www.sorensen.com/products/SG/downloads/SGI-Series_Operation_Manual_M550221-01_rV.pdf

25.Цапов А. Программируемые источники питания постоянного тока серии sg.- Компоненты и технологии, №155, 2014.

26.Fowler T. Selecting Inductors for Low-Power Buck Regulators//Power Electronics Technology. 01.11.2007.

27.Федоров А. Обзор источников питания компании mean well.- Компоненты и технологии, №141, 2013.

28.Никитин М. Интеллектуальные системы электропитания решения компании Deutronic.- Электроника НТБ № 4, 2012.

29.Шатохин В. Системы бесперебойного электропитания микро-процессорных комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики.- СПб.: ПГУПС, 2007.

30.Жданкин В. DC/DC-преобразователи для военных систем: гибридная технология или технология поверхностного монтажа на печатную плату.- Современная электроника № 4, 2008.

31.Красный И.Б., Непочатов Ю.К., Кумачёва С.А., Швецова Ю.И. Технологии изготовления плат для высокомоощных силовых полупроводниковых устройств. Часть 1. Современная электроника. 2014. №9.

32. Barlow F., Elshabini A. Ceramic Interconnect Technology Handbook. CRC. 2007.

33. Батыгин В.Н., Метёлкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и её спаи с металлами. Москва. Энергия. 1973.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ	Анк
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Найменування і область використання.

Виявлення нового методу виготовлення плат і вивчення теплових властивостей DBC підкладок з доказом можливості їх застосування в малогабаритних джерелах живлення спеціального призначення з найкращим теплоотводом. Орієнтований на сферу використання в малогабаритній промисловій електроніці.

2. Основа для виконання роботи.

Основою для проектування є завдання на дипломний проект.

3. Мета і призначення розробки.

Метою розробки є розробити технологію виготовлення геометрії плат в потужних (1000 Вт) малогабаритних джерелах живлення спеціального призначення. Виконати тепловий розрахунок, досліджувати теплові режими підкладок. Дослідити способи з'єднання БДС плат в складі корпусу джерела живлення

Технічні вимоги.

3.1. Вимоги до функціональних характеристик системи.

- Можливість забезпечувати постійний моніторинг стану здоров'я користувача в режимі онлайн, завдяки вбудованим датчикам та WIFI модулю;
- Відображення статусу критичного стану при відхиленні показань хоч одного з датчиків, що виходять за межі допустимих значень;
- Реєстрація та зберігання даних, зчитаних з датчиків пристрою, та зберігання їх на сервері;
- Легкий доступ до даних через мережу Інтернет.

4.2. Вимоги до надійності системи.

Час напрацювання за раптовими відмовами не менше 20 тис. годин.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ				
Змн	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата					
Розроб	Касяненко				Покращення тепловідводу від потужних МП		Літ	Арк	Апквпів
Перевір	Кузьмичев А. І								
Реценз.								10	109
Н. Контр.	Чалюк В.О.						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-351		
Затверд.	Писаренко Л.Д.								

4.3. Вимоги до технологічності.

Використання сучасної елементної бази з покращеними експлуатаційними характеристиками. Можливість виготовлення на обладнанні, до якого не висувається підвищених вимог.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ					
Змн	Арк	№ докum.	Піппис	Лата	Покращення тепловідводу від потужних МП			Літ	Арк	Арквипів
Розроб	Касяненко									
Перевір	Квзьмичев А. І								10	109
Реценз.								«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-351		
Н. Контр.	Чалюк В.О.									
Затверд.	Писаренко Л.Д.									

4.4. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

Використання технологій та елементів, регламентованих стандартами, прийнятими на території України. Максимально уніфікувати деталі.

5. Вимоги до складових частин виробу, сировини та експлуатаційних матеріалів.

Використовувати матеріали та компоненти серійного виробництва помірної вартості. Конструкція виробу має бути ремонтпридатною та забезпечувати можливість заміни елементів.

6. Результати роботи.

Робота повинна містити наступні документи:

- пояснювальну записку;
- схему електричну принципову;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати;
- перелік елементів;
- специфікацію;
- додатки.

					ЗБР.171.051.004 ПЗ				
Змн	Апк	№ док-м	Підпис	Дата					
Розроб	Касяненко				Покращення тепловідводу від потужних МП	Літ	Апк	Апквпів	
Перевір	Кузьмичев А. І							10	109
Реценз.						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-351			
Н. Контр.	Чалюк В.О.								
Затверд	Писаренко Л.Д.								